

TÄRKKELYKSEN KÄYTTÖ PELLETIN VALMISTUKSESSA

Vesa Joonas Kumpulainen

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Materiaalitekniikka
Puutekniikka
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Vesa Kumpulainen

Lahden ammattikorkeakoulu
Materiaalitekniikka

KUMPULAINEN, VESA:

Tärkkelyksen käyttö pelletin
valmistuksessa

Puutekniikan opinnäytetyö, 61 sivua, 6 liitesivua

Syksy 2015

TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö tehtiin toimeksiantona suomalaiselle saha- ja jatkojalostetoimija Versowood Group Oy:lle yhteistyössä kemian alalla toimivan Haarla Oy:n kanssa. Työn aiheena on lämmityspuupelletin fysikaalisten ominaisuuksien parantaminen raaka-aineeseen lisättävien sideaineiden avulla. Tutkimuksen tavoitteena on ehkäistä II-laatuisten pelletin syntyminen tuotantoprosessissa.

Teoriaosassa perehdytään puristettujen biomassatuotteiden valmistusperiaatteeseen, sekä vertaillaan aiemman pellettitutkimuksen tuottamia tuloksia lisäaineiden soveltuvuudesta prosessiin. Näiden pohjalta tutkimuskohteissa keskitytään tärkkelyksiin, joista valitaan kokeita varten ennakotietojen valossa parhaat laadut. Ennen kokeellista osuutta määritellään myös standardinmukaiset laatuksiteerit ja mittausmenetelmät.

Opinnäytetyön kokeellisessa osassa esitetään ohjelmat sideaineiden testi-ajoille ja vertaillaan aineiden vaikutuksia pelletin tiheyteen, pituuteen, kosteuspitoisuuteen sekä mekaaniseen kestävyys. Lisäksi tutkitaan sideaineiden vaikutusta prosessin materiaalitehokkuuteen.

Tutkimus tuotti entistä tarkempaa tietoa tärkkelysten vaikutuksista pelletin laatuun ja näiden välisistä keskenäisistä eroista, sekä tärkeitä tuloksia tiettyjen laatu- ja soveltuvuudesta. Yhdessä markkinahintaseurannan kanssa tutkimus mahdollistaa huomattavia parannuksia tuotteen laadussa.

Asiasanat: Biopolttoaineet, puupelletti, tärkkelys, tuotekehitys

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Material Technology

KUMPULAINEN, VESA:

Starch application in wood pellet
manufacturing

Bachelor's Thesis in wood technology, 61 pages, 6 pages of appendices

Autumn 2015

ABSTRACT

This thesis was produced as an assignment for the Finnish sawmill- and PW-company Versowood Group Oy in collaboration with the chemical industry operator Haarla Oy. The subject of this research is the improvement of heating pellets' physical properties by the addition of binding agents. The aim of the thesis was to prevent the forming of second-grade heating pellet in the production process.

The theoretical part familiarizes the reader with the production principle of densified biomass products, and reflects on earlier research data regarding binding agent aptitude in pellet production. Based on this data the research focuses on a selection of starch additives to be included in the study. Before the practical research, quality criteria and evaluation methods are specified according to standardization.

The practical part of the thesis introduces test-drive planning and programs and moves on to compare the binding agents' effects on wood pellet density, length, moisture content and mechanical durability. Additionally, the study examines the additives' effects on overall material efficiency.

The research produced increasingly specific information on the effects of starch additives and the differences between starch types, as well as significant information regarding additive aptitude in the process. Supplemented with price monitoring this study offers notable improvement opportunities in product value.

Key words: Biofuels, wood pellet, starch, product development

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TEORIAOSA	3
2.1	Yritysesittelyt	3
2.1.1	Versowood Group	3
2.1.2	Haarla OY	4
2.2	Pelletin valmistusprosessi	5
2.2.1	Mekaaninen lukittuminen	8
2.2.2	Kemialliset sidokset	8
2.3	Pelletin laatuominaisuudet	9
2.3.1	Kosteuspitoisuus	9
2.3.2	Irtotiheys	10
2.3.3	Mekaaninen kestävyys	11
2.3.4	Pituuden tyyppi-arvo	12
2.3.5	Hienoainepitoisuus	13
2.4	Sideaineet pellettituotannossa	14
2.4.1	Tärkkelys ja sen toiminta	15
2.5	Tärkkelys-laadut	17
2.5.1	Tapiokatärkkelys	18
2.5.2	Perunatärkkelys	19
2.5.3	Maissitärkkelys	20
2.5.4	Ohratärkkelys	20
2.5.5	Vehnätärkkelys	21
3	KOKEELLINEN OSA	22
3.1	Testisuunnittelu	22
3.1.1	Syöttöaika	23
3.1.2	Syöttömäärät	23
3.2	Testilaitteisto	26
4	TULOKSET	28
4.1	Tapiokatärkkelys, natiivi	29
4.2	Perunatärkkelys, natiivi (II-laatu)	33
4.3	Maissitärkkelys, natiivi	37
4.4	Ohratärkkelys, natiivi	41
4.5	Vehnätärkkelys, natiivi	45

4.6	Ligniini, nesteytetty	49
4.7	IBC-liuos	52
5	TULOSTEN ARVIOINTI	55
5.1	Tulosten vertailu	55
5.2	Yhteenveto	59
5.3	Kehitysehdotukset	60
6	LÄHTEET	62
7	LIITTEET	65

1 JOHDANTO

Lämmityspuupelletin laadun kehitys keskittyy usein erilaisten lisäaineiden tutkimukseen, jonka pohjalta on todettu pelletin mekaanisen käsittelykestävyyden olevan tuotteelle tärkeä laatukriteeri. Tämän tutkimuksen tavoitteena on löytää optimaalinen sideaine ja pitoisuus pelletin mekaanisen kestävyyskasvattamiseksi sillä edellytyksellä, etteivät tuotteen muut ominaisuudet merkittävästi heikkene. Perimmäinen tavoite on kasvattaa lopputuotteen arvoa ja parantaa sen markkina-asemaa. Lisäksi tutkimuksen taustalla vaikuttavat biopolttoainestandardien kehitys sekä puupelletin merkityksen kasvu Suomen energiantuotannossa.

Onnistuneella pellettijärjestelmällä on edellytyksenä käyttäjän aktiivisuuden ja luotettavan polttoainehuollon lisäksi korkealaatuinen pelletti. Periaatetasolla puussa esiintyvät luontaiset sideaineet mahdollistavat paineen ja lämmön yhteisvaikutuksesta purun kiinteytymisen tiheäksi puristeeiksi. Puupelletti on siis lisäaineeton puujaloste, ja hajoaa täten säilytyksen tai varastoinnin aikana hankautuessaan takaisin hienojakoiseksi puruksi (Chang, Lee, Choi & Cho 2014, 18). Myös altistuminen kosteudelle vaikuttaa heikentävästi pelletin kestävyyskasvuun (Kaliyan & Morey 2008, 4-5). Hienojakoinen puru puolestaan heikentää pellettipolttimoiden tehokkuutta sekä aiheuttaa ongelmia polttimoiden syöttölaitteissa, joka näkyy lämpöteho- ja lopulta rahallisena hävikkinä. Pelletin hajoamisen on todettu aiheuttavan myös hiilimonoksidi- tai heksaanipäästöjä ja aiheuttavan näin terveyshaittoja. Näistä syistä laadukkaan pelletin tärkeimpiin tunnusmerkkeihin kuuluu korkea mekaaninen kestävyys.

Standardien uudistumisen vuoksi sideaineiden pitoisuudelle sallitaan entistä suurempi pitoisuus, joka mahdollistaa etenkin mekaanisen kestävyyskasvituksen ja parantaa tuotteen markkina-asemaa. (Laaksonen 2014). Tämän lisäksi esimerkiksi EU:n ilmasto- ja energiapolitiikan sitoumukset ovat lisänneet uusiutuvien energianlähteiden kuten puupelletin tärkeyttä Suomen kansallisessa energia- ja ilmastostrategiassa. Muutos on merkittävä, sillä vuoden 2020 jälkeen

valmistuvien rakennusten tulee olla ”lähes nollaenergiataloja” (Rantala 2012, 7). Määritelmästä riippuen tällä voidaan tarkoittaa energiaa tuottavaa rakennusta, ulkoisista energianlähteistä riippumatonta rakennusta, tai rakennusta joka käyttää pelkästään uusiutuvaa energiaa (Hellsten 2008, 17). Riittäväillä varastojärjestelyillä pellettilämmitysjärjestelmä on ulkoisista energianlähteistä riippumaton, ja mahdollistaa lämmön ylituotannon jolloin energia voidaan toimittaa rakennuksesta ulkopuoliseen käyttöön. Ympäristönäkökulmasta on tärkeää huomata myös, että pelletit ovat hiilidioksidineutraaleja –niiden poltettaessa luovuttaman hiilidioksidin määrä on sama kuin puun kasvaessa sitoma– ja niiden raaka-aine täysin uusiutuvaa.

Valtiollinen nollaenergiarakentamiseen siirtyminen edellyttää luonnollisesti kullakin alueella saatavilla olevan uusiutuvan energian hyödyntämistä, josta Suomessa selvästi suurimman osan muodostavat puupolttoaineet. Puulla katettiin 23 % vuoden 2012 energian kokonaiskulutuksesta, joka oli 380 terawattituntia. Asiaa tarkastellessa on syytä huomata, että esimerkiksi tuuli- ja vesivoimalla katettiin vain 4,5 % sekä turpeella 5 %, ainoastaan fossiilisen öljyn noustessa puupolttoaineden yläpuolelle 24 % osuudella. (Tilastokeskus 2012.)

Puun käytöstä suurin osa asuintilojen energiatuotannossa on kuitenkin edelleen perinteistä polttopuuta, jonka arvioidaan tuottavan lämmitykseen vuosittain 11 Twh. Pellettipolttimoiden hintojen laskiessa ja tekniikan yleistyessä perinteisiä tulisijoja korvataan valtion tukemana lämmöntuotannon hyötysuhteen lisäämiseksi ja hiukkaspäästöjen vähentämiseksi. Pellettialan toimijoiden tavoitteena onkin nostaa pelletillä tuotetun energian määrä vuoteen 2020 mennessä 7 Twh:n tasolle. Toimijat ovat myös ennustaneet pelletin käytön nousevan lähivuosien aikana jopa 1,5 miljoonaan tonniin. Vuosien 2002 ja 2012 välillä pelletinkäyttö Suomessa kasvoi 24 000 tonnista 190 000 tonniin, joka vastaa yli 60 000 rivitaloasunnon lämmityksen tarvetta. (Rantala 2012, 8.)

2 TEORIAOSA

Opinnäytetyö toteutettiin toimeksiantona Versowood Group -konsernille syksyn 2014 ja kevään 2015 aikana. Toimeksiannon taustalla vaikuttaa yrityksen tahto kehittää tuotteitaan ja säilyttää kilpailukykyä muuttuvalla puunjalostusalalla. Kyseinen konserni on tällä hetkellä suomen suurin yksityinen sahatavaran tuottaja sekä jatkojalostaja.

Toimeksiantajan lisäksi tutkimuksen yhteistyökumppanina toimi tamperelainen Haarla Oy. Tutkimuksen kokeissa käytetyt aineet hankittiin yrityksen kautta, jonka lisäksi yrityksen liikekehityspäällikkö antoi työn edetessä konsultaatiota raaka-aineista ja syöttöteknologiasta sekä valmistuserien tarkat tiedot.

2.1 Yritysesittelyt

2.1.1 Versowood Group

Versowood on vanha saha-alan yritys, joka on perustettu toisen maailmansodan jälkeen vuonna 1964 Härkälän kylään Vierumäelle nimellä Vierumäen Teollisuus Oy. Vajaan 20 vuoden iässä tämä alunperin puun sahaamiseen keskittynyt yritys laajensi tuotantoaan kyllästettyihin puutuotteisiin, ja vuonna 1972 se myös aloitti liimapuutekniikan yleistyessä kantavien rakenteiden valmistamisen.

Vuoden 1990 alussa Vierumäen Teollisuus Oy siirtyi Kollin perheen omistuksesta nykyisen Kopran perheen omistukseen, jonka alaisuudessa konserni laajeni yrityskauppojen myötä muun muassa Kotkaan ja Mikkeliin sekä moninkertaisti tuotantokapasiteettinsa niin jatkojalosteiden kuin sahatavaran kentillä. Vuoteen 2004 mennessä konsernin laajentuminen oli aiheuttanut yhtiön sisällä halun tunnistautua modernina valtakunnallisena kokonaisuutena, jolloin yhtiö vaihtoi nimensä Versowoodiksi.

Kaksi vuotta nimenvaihdoksen jälkeen yrityksessä toteutettiin sukupolvenvaihdos, jonka jälkeen vain vuoden päästä Versowoodilla

aloitettiin puupellettituotanto. Pellettikauppaa ja palveluita alettiin tarjoamaan Vierumäen yksiköstä yksityisasiakkaiden lisäksi myös ulkomaisten lämmityslaitosten tarpeisiin, minkä seurauksena yritys laajeni vientimahdollisuuksien takaamiseksi Valkon satama-alueelle Loviisaan. Versowood on jatkanut vakaata kasvuaan myös uuden sukupolven alaisuudessa useiden puutyö-, lavojenvalmistus- ja pakkaustenvalmistusyriyten liittämällä konserniin. Vuoden 2014 kesäkuussa konserni työllisti 819 henkilöä Suomen ja Viron alueilla, ja sen liikevaihto oli kasvanut 456,2 miljoonaan euroon. Tämä käsittää kaikkiaan kaksitoista tulosityksikköä, joista kaksi sijaitsevat Virossa ja loput kymmenen Suomessa. (Versowood 2014.)

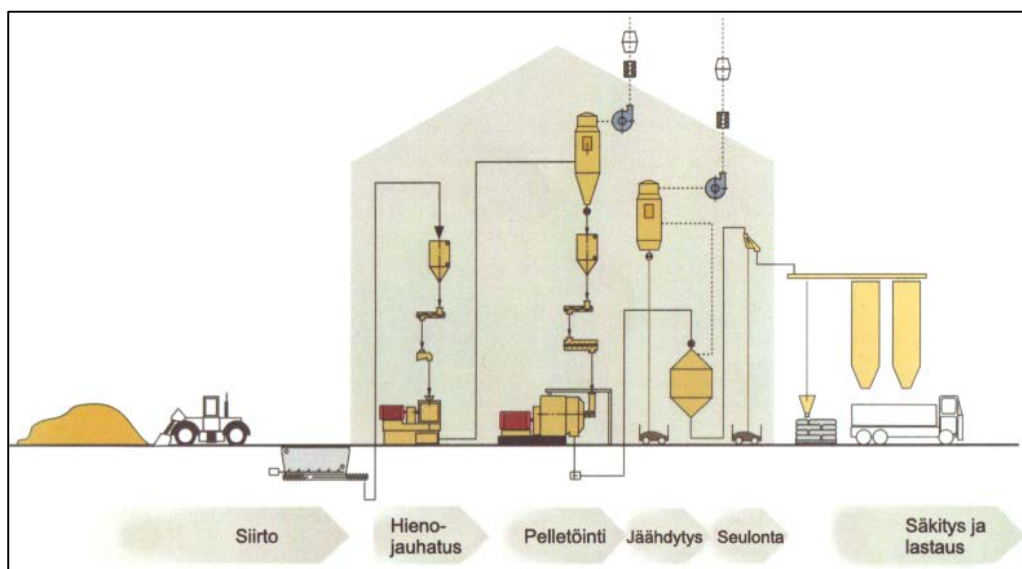
2.1.2 Haarla OY

Haarla on suomalainen tarvike-, suunnittelu-, ja raaka-ainetoimija, jonka pääpaino on kemian ala. Yritys on ollut perheomistuksessa perustamisvuodestaan 1962 asti. Se perustettiin palvelemaan sellu- ja paperiteollisuuden tarpeita, mutta nykyään Haarla on laajentunut toimintaansa yhteensä 14 teollisuudenalalle. Tuotteiden myynnin lisäksi yrityksen neljä haaraa tarjoavat palveluita tekniikan, raaka-aineiden, koneistuksen ja terveysalan sektoreilla. Tutkimuksen aikana yhteistyössä oltiin Haarla Raw-Materialsin kanssa, joka toimittaa kemikaaleja bioenergian lisäksi muunmuassa kaivostoimintaan, sellu- ja paperiteollisuuteen, vedenpuhdistukseen ja ravintotieteeseen.

Vuositasolla Haarla Oy käsittelee noin 70 000 t kiinteitä sekä noin 200 000 t nestemäisiä kemikaaleja, joista yrityksen odotettu liikevaihto vuodelle 2014 nousee noin 40 miljoonaan euroon. Yrityksen palveluksessa toimii yli 40 henkilöä sekä itsenäisinä myyntiedustajina että seitsemässä toimipisteessä. Tampereen pääkonttorin lisäksi toimistot sijaitsevat fennoskandian alueella ja Virossa, sekä Englannissa ja Kiinassa (Haarla 2014).

2.2 Pelletin valmistusprosessi

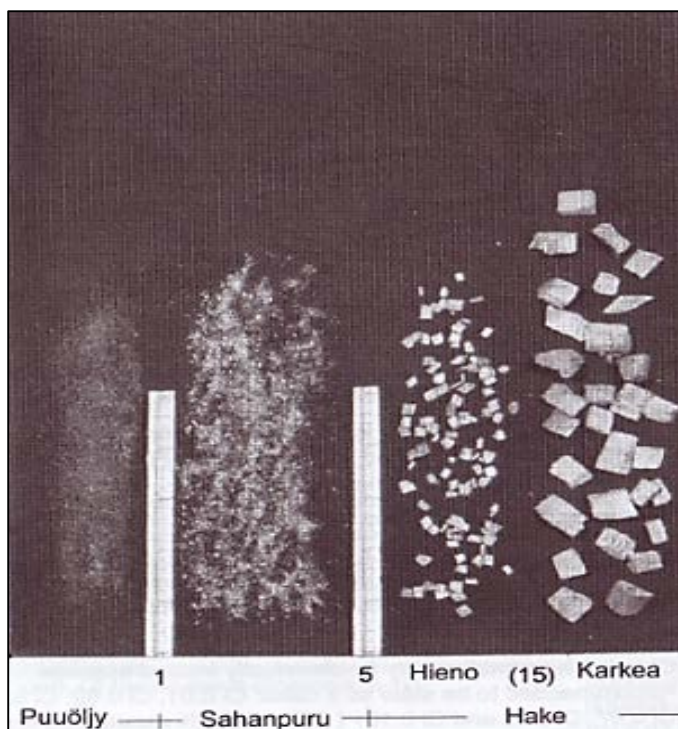
Puupelletin valmistusprosessi (Kuvio 1.) on käytännössä sahailaitoksen sivutuotteiden jalostamista. Puupelletin raaka-aine valmistetaan kutterinpurusta, puuhakkeesta sekä erilaisista hiomapölyistä, jonka hankinta tapahtuu joko sisäisenä siirtona sahailaitoksen muista yksiköistä tai hankintana sellaiselta toimijalta, jolla ei ole omaa kapasiteettia hyödyntää sivutuotetta.



Kuvio 1. Pellettiprosessin päävaiheet (Andritz 2011)

Sisäinen siirto suoritetaan joko imuriputkin ja kuorma-autoilla pellettilaitoksen raaka-ainevarastoon, ja sitä täydennetään usein tuotannon toiminta-asteen ylläpitämiseksi kuljetusliikkeiden kanssa toteutettavalla ulkopuolisella raaka-aineketjulla. Toimiva raaka-ainehuolto edellyttää epäpuhtauksien (kuten kivet, metalli ja muovi) poistamista ennen raaka-aineen saapumista varastoon. Lisäksi kosteaa purua tai haketta käsittelevä pellettilaitos tulee varustaa esikuivurilla, jotta saavutetaan prosessin edellyttämä 10 -15 % raaka-aineen kosteuspitoisuus (Pellettienergia 2015). Raaka-ainevarasto on usein tilava halli, jonka lattiatasoon on asennettu kampamaiset hydrauliset vetäjät tai ruuvikuljettimista koostuva purkulaitteisto. Pohjalta käsin purkavat laitteistot mahdollistavat raaka-aineen poistumisen saapumisjärjestyksessä, joka edesauttaa raaka-aineen kuivumista sekoittumista ja vähentää laadullista vaihtelua.

Järjestelmään on yleensä integroitu mahdollisuus ajaa vetäjiä sekä itsenäisesti että pareittain, synkronoidusti tai epäsynkronoidusti, joka helpottaa raaka-ainevirran hallintaa. Hydraulinen purkukoneisto siirtää varaston jälkeen raaka-aineen vasaramyllyhuoneeseen, jossa voimakas sähkömoottori pyörittää neliakselista myllyä. Akseleihin pujotetut kovametalliset terälaput pilkkovat ja työntävät raaka-aineen läpi paksusta metalliverkosta, jolloin sen partikkelikoko homogenisoituu.



Kuvio 2. Raaka-aineen partikkelikokoluokat alueella 0-50mm (SFS 2102)

Toimivan pellettiprosessin edellytyksenä on tasainen ja riittävän pieni partikkelikoko (Kuvio 2.) Vasaramyllyssä esikäsitelty hienojakoinen puru imetään vasaramyllystä suodattimin varustettuun alipainesäiliöön, jossa vasaramyllyn liiallisesti hienontama puupöly (kuviossa alle 1 mm partikkelikokoinen "puuöljy") erotetaan tuotantoon siirtyvästä raaka-aineesta. Alipainesäiliön purku tapahtuu pohjalta käsin sulkusyöttimellä, joka annostelee raaka-ainetta pellettipuristimien sekoittajakammioihin. Sekoittajan käyttö mahdollistaa erilaisten lisäaineiden käytön valmistusprosessissa sekä poistaa mahdollisia raaka-ainesiirron aiheuttamia paakkuuntumia ennen varsinaista puristusvaihetta (Bioenergia 2015).

Pelletin puristamiseen valmistetut koneet vaihtelevat puristuskoneiden ja matriisien suhteen riippuen pääasiallisesti pelletöitävän materiaalin käyttökohteesta. Lämmityspelletin valmistuksessa suositetaan niin sanottua rengasmatriisipuristinta, jossa puristuminen tapahtuu järeän teräsrenkaan pinnalla sijaitsevien puristuskanavien läpi.

Laitteen toimintaperiaate perustuu rengasmatriisiin sisällä sijaitseviin kahteen laakeroituun ”colleripyörään” (eng. Colleroll), jotka asetetaan ennen purunsyöttöä kiinni matriisirengaan sisäpintaan. Matriisirengasta pyöritetään sähkömoottorilla, joka välittää liikkeen kitkavoiman avulla colleripyöriin. Pyörän ja matriisirengaan väliin kulkeutuva raaka-aine pakottuu näin puristuskanaviin, jossa prosessissa syntyvä lämpö ja korkea paine aiheuttavat puun oman polyfenolin eli lingiinin hetkellisen pehmenemisen. Puristuskanavaan saapuva uusi raaka-aine työntää samanaikaisesti kanavan poistopäästä pellettiä ulos, jolloin sen lämpötila laskee ja ligniini kovettuu toimien luonnollisena sideaineena.

Rengasmatriisin ulkopinnalle on oleellista asentaa kovametalliset veitset, jotta katkeamattomasti puristuvan pelletin maksimipituutta voidaan hallita.

Katkaistu pelletti siirtyy puristusvaiheen jälkeen jäähdyttimeen, jossa kierrätetään viileää ilmaa pienessä alipaineessa. Jäähdytyksen aikana tuote saavuttaa lopullisen kovuutensa, minkä lisäksi tuotteesta poistuva vesihöyry ehkäisee kuljetuslaitteiston korroosiota. Jäähdytyksen jälkeen hienoaines erotetaan tuotteesta täristimiellä varustetulla seulalla, jotta helposti murtuva aines sekä riittämättömästi puristunut pelletti ei kulkeudu kuluttajalle vaan saadaan takaisin raaka-ainekierto. Jäähdytyksenä ja seulottuna puupelletti on saavuttanut lopullisen muotonsa, minkä jälkeen se varastoidaan silloihin tai kuluttajapakkauksiin.

Koska puupelletti on pilkotuista solukoista yhteenpuristettu biomassatuote, sen kestävyys riippuu raaka-aineen lujuusominaisuuksien sijaan pelletin sisäisestä yhteensitovasta voimasta. Tällä voimalla käsitetään kuitu- ja lastupartikkelien fyysiset lukittumismekanismit sekä kemiallisten sidosten muodostuminen partikkelien välille. (Kaliyan & Morey 2008, 2.)

2.2.1 Mekaaninen lukittuminen

Mekaaninen lukittuminen aiheutuu raaka-aineen puristuessa kokoon, jolloin epämääräisen muotoiset raaka-ainepartikkelit saattavat puristua toistensa ympäri tai kiilautua toistensa väliin. Lisäksi prosessin aiheuttama lämpötilan nousu höyrystää raaka-aineessa esiintyvän veden, jolloin lastumaiset partikkelit ja ohuet kuidut kihartuvat estäen partikkeleiden liikkumista. (Kaliyan & Morey 2008, 3).

Mekaaninen lukittuminen on luonteeltaan sattumanvaraista ja riippuu raaka-aineen kosteudesta, kovuudesta sekä partikkelikoosta. Lukittumista ei voida hallita puristuksen aikana, ja sen osuus pelletin sisäisestä yhteensitovasta voimasta on verrattain pieni.

2.2.2 Kemialliset sidokset

Kemialliset sidokset ovat partikkeleiden välille muodostuvia lujia sidoksia, jotka koostuvat lisääaineettomassa pelletissä pääosin ligniinistä. Kemiallisten siltojen muodostuminen on pelletin pääasiallinen yhteensitova voima ja edellytys toimivalle pellettiprosessille.

Sitominen alkaa raaka-aineen puristuessa matriisirenkaan läpi, kun puristimen sisällä syntyvä lämpö pehmentää puussa luontaisesti esiintyvän ligniinin. Tämän vahvoja sidoksia muodostavan polyfenolin pehmentyminen edellyttää noin 100 -130 °C:n lämpötilaa. (Nalkki 2014). Pehmennyt ligniini saa kuitujen ja partikkelien pinnat tarttumaan toisiinsa muodostaen tiheän massan, joka lämpötilan jälleen laskiessa ja ligniinin jähmettyessä sitoo puristetta yhteen. (Kaliyan & Morey 2008, 14.)

2.3 Pelletin laatuominaisuudet

Tutkimuksessa pyrittiin mekaanisen kestävyyskasvuun pelletin muita ominaisuuksia heikentämättä. Silmälläpidettävät ominaisuudet valittiin Suomen Standardoimisliiton laatumääritelmien avulla, jonka lisäksi tutkimukseen valittiin lisäsuure ”hienoainepitoisuus”. Tässä tutkimuksessa laadun arviointiin sisällytettiin alla mainitut suureet.

2.3.1 Kosteuspitoisuus

Pellettiprosessissa käytettävä raaka-aine on usein sivutuotetta, jonka kosteusprosentti voi vaihdella 15 %:sta jopa yli 50 %:n. Näin kostea raaka-aine ei voi onnistuneesti pelletöityä vaan hajoaa höyrynpaineen vaikutuksesta matriisirenkaasta poistuessaan takaisin puruksi. Onnistunut pelletinvalmistus vaatii raaka-aineelta noin 10 -15 % kosteuspitoisuutta, joka vaatii usein erillisen kuivauksen (Bioenergia ry 2015). Raaka-aineen kosteudesta poistuu pelletöitymisen aikana vielä noin puolet, jolloin loppukosteus jää alle 10 %:n. Lopputuotteen kosteuspitoisuus on laadullisesti merkittävä tekijä, koska oikean kosteuden omaava pelletti ei voi käytännössä jäätyä eikä homehtua (Bioenergianeuvoja 2015.)

Kosteuspitoisuus määritellään poistuneen veden osuutena lopputuotteen näytepainosta, kun vakiomassa on saavutettu 105 ± 2 °C:n lämpötilassa kuivauslaitteistossa. Kosteuspitoisuuden mittaamiseen hyväksytyt testauslaitteet on asetettu standardeissa SFS-EN 14774-1, SFS-EN 14774-2 sekä SFS-EN 14774-3. (SFS 2012.)

Kosteuspitoisuus määritetään laskukaavasta

$$M_{\%} = \frac{(m_2 - m_1) - (m_4 - m_5) + m_6}{(m_2 - m_1) + m_6} * 100$$

Jossa

m_1 on tyhjän astian massa grammoina.

m_3 on astian ja näytteen massa grammoina ennen kuivausta.

m_3 on astian ja näytteen massa grammoina kuivauksen jälkeen.

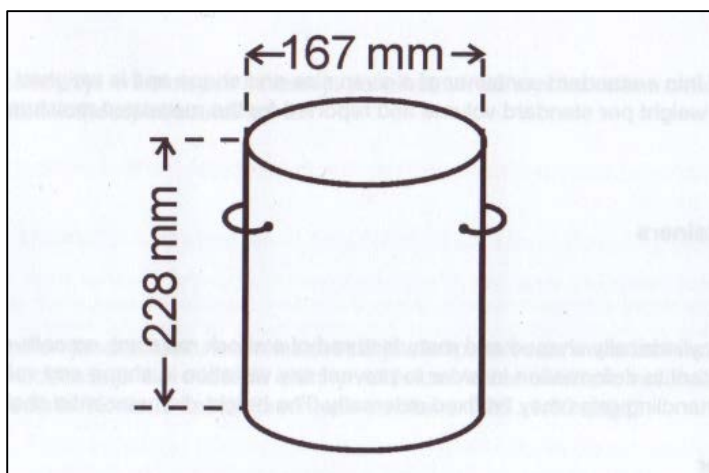
m_4 on vertailuastian massa huoneen lämpötilassa (ennen kuivausta).

m_5 on vertailuastian massa kuumana (kuivauksen jälkeen).

m_6 on pakkaukseen sitoutuneen kosteuden massa grammoina.

2.3.2 Irtotiheys

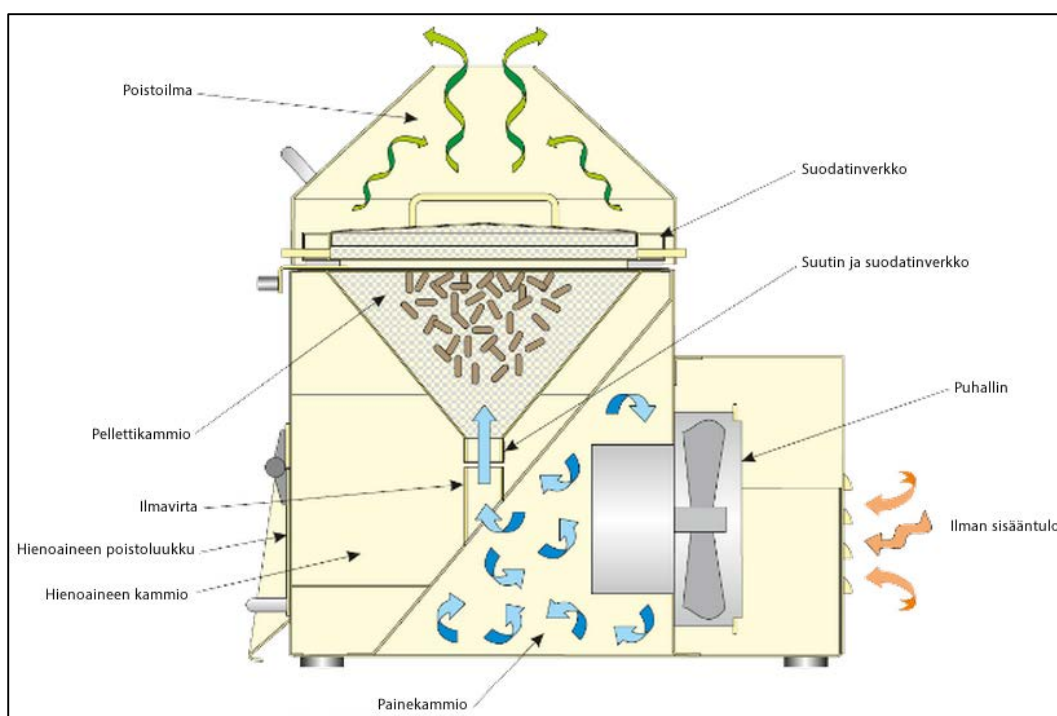
Irtotiheyden merkitys on pellettitutkimukselle keskeinen suure, sillä yhdessä tehollisen lämpöarvon kanssa sen avulla voidaan määrittää polttoaineen energiatiheys. Tiheyden tarkastelu auttaa myös arvioimaan tilantarvetta sekä varastoinnissa että kuljetuksissa. Standardissa SFS-EN 15103 on eritelty irtotiheyden mittausmenetelmät 5 dm³:n (Kuvio 3.) ja 50 dm³:n näytteenottoon (SFS 2012). Näistä ensimmäistä käytettiin määrittämään laskennallinen tiheys yhdelle irtokuutiolle pellettiä seulonnan jälkeen.



Kuvio 3. Tiheysmittauksen näyteastia, tilavuus 5dm³ (SFS 2012)

2.3.3 Mekaaninen kestävyys

Kolmantena tarkasteltavana suurena on pelletin mekaaninen kestävyys, joka edustaa pelletin lujuutta eli sen alttiutta hajota kuljetuksen ja käsittelyn aikana takaisin osapuristeeiksi tai puruksi. Aiemmin mainittujen polttimo- ja syöttölaitehäiriöiden lisäksi matala kestävyys altistaa varastointilaitteet häiriöille ja vaurioitumiselle, sillä se aiheuttaa tiettyä tiivistymisvaikutusta ja pakkautumista pellettiprosessissa. Tämä johtuu siitä, että pellettiä varastoidaan ja käsitellään usein mitta-astioita huomattavasti suuremmissa siloissa, joissa kertyvä jauhaantuminen johtaa kasvaneeseen kuormapaineeseen. (SFS 2012.)

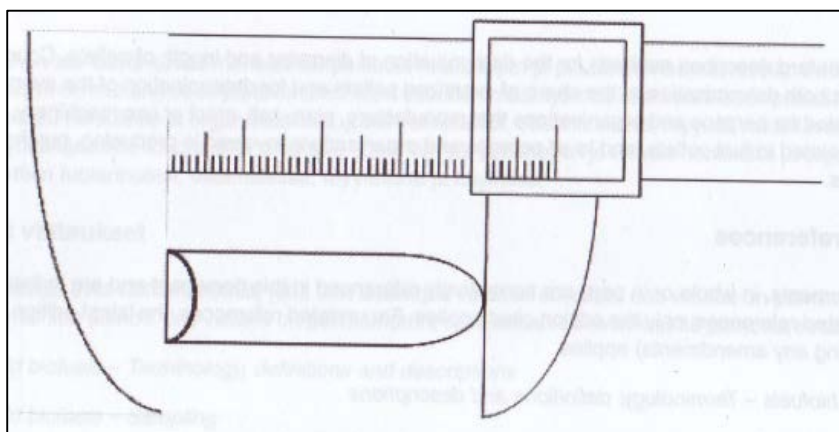


Kuvio 4. Kestävyysmittauslaitteen toimintaperiaate (Holmen 2012)

Mekaaninen kestävyys määritetään altistamalla pelletit törmäyksille testirummun (Kuvio 4.) sisällä, jolloin pelletistä poistuu heikoimmin sitoutunutta irtoaainesta. Kestävyys ilmoitetaan jäljelle jääneen ehjän puristemassan osuutena 100-120g:n näytteestä. Mekaaninen kestävyys käsitetään myös pelletin "kovuutena", ja sen testaukseen liittyvät menettelyt on asetettu standardeissa SFS-EN 15210-1 sekä 15210-2. (SFS 2012).

2.3.4 Pituuden tyyppi-arvo

Tyyppi-arvon avulla tutkimuksessa voidaan tarkastella lisäaineesta johtuvaa pelletin pituuden kasvua. Korkea pituuskasvu altistaa prosessin ”ylipitkän” eli 40 mm:n ylittävän pelletin tuotannolle, mikä näkyy lopputuotteen laadussa syöttölaittehäiriöinä ja aiheuttaa tarpeettomia reklamaatioita (Laaksonen 2014). Reklamaatioita välttämällä sekä toimitusvarmuus että prosessin taloudellinen kannattavuus paranevat.

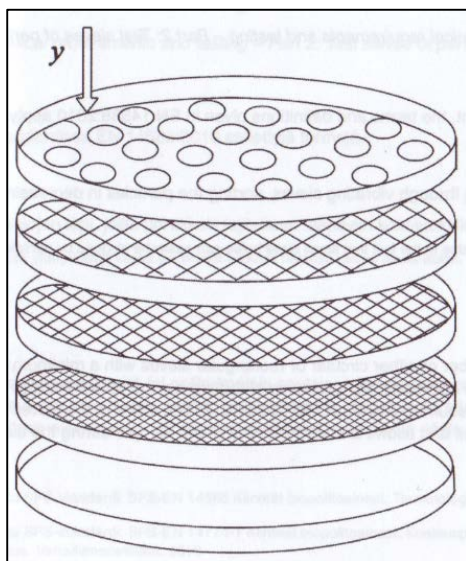


Kuvio 5. Pituuden mittausmenettely (SFS 2012)

Mittaus suoritetaan työntötolkillla (Kuvio 5.) niin, että mittapääät sijaitsevat pelletin toisen pään pisimmän huipun kärjessä ja vastakkaisen pään syvimmän laakson pohjassa. Mitta-arvojen keskimääräinen pituus määritellään tässä tutkimuksessa näytteestä satunnaisotantana valitun aineiston moodina. Satunnaisotoksen koko oli 200 cm³, johon kuuluneet pelletit mitattiin yllä esitetyn kuvan mukaisesti, ja tulokseksi kirjattiin lähimpään mm:n pyöristettynä useimmin esiintynyt. Puupelletin mittausmenettely on asetettu standardissa SFS-EN 16127. (SFS 2012).

2.3.5 Hienoainepitoisuus

Hienoainepitoisuus on standardisoimaton suure, joka määrittellään hajonneen tai puristumattoman pelletin osuutena näytteen kokonaispainosta ennen tuotteen seulontaa. Hienoainepitoisuuden merkitys tutkimukselle on auttaa määrittämään, vaikuttaako sideaineen lisääminen materiaalikierron tehokkuuteen. Hienoaine erotetaan tuotannossa tärymoottorilla varustetun seulontalaitteen avulla, joka vastaa toiminnaltaan kuviossa 6 esitetyn kuvan kaltaista seula.



Kuvio 6. Hienoaineen erotteluseula (SFS 2012)

Jäähdyttimeen juuripuristetun tuotteen siirtävät kuljettimet on usein varustettu hienoainesta poistavilla imureilla. Imurit palauttavat riittämättömästi puristuneen hienojakoisen aineen raaka-ainevaraston kautta takaisin materiaalikiertoon. Koska tällä tavoin syntyneen "uusio-" raaka-aineen on kuljettava uudelleen koko tuotantoprosessin läpi, se voidaan laskea hävikiksi. Hienoainepitoisuuden laskeminen sideaineen avulla kasvattaa tuotantovolyymiä, mikäli hienoaine saadaan sidottua prosessista poistuvaan pellettiin. Lisäksi se parantaa prosessin energiatehokkuutta vähentämällä pellettitonin tuotantoon kulunutta energiaa.

2.4 Sideaineet pellettituotannossa

Koska mekaaniseen lukittumiseen ei käytännössä voida vaikuttaa, loogisin tapa pelletin varastointi- ja käsittelykestävyyden lisäämiseksi on lisätä raaka-aineeseen tuotantovaiheessa erilaisia sideaineita. Sideaineilla pyritään edesauttamaan kemiallisten siltojen syntymistä, mutta välttämään puupelletin palo-ominaisuuksien heikentymistä tai hiukkaspäästöjen merkittävää kasvua. Sideaineet toimivat toissijaisesti myös täyteaineina jotka lisäävät lopputuotteen tiheyttä (Nalkki 2014).

Pelletin kestävyyttä parantavat sideaineet altistavat toisaalta tuotannon ylipitkän pelletin muodostumiselle, joka syöttölaitteissa ilmenevien häiriöiden lisäksi heikentää pelletin palo-ominaisuuksia. Suomalainen tutkimusryhmä totesi mm. pelletin palamislämpötilan laskevan 31 %, kun sen pituus kasvoi 5,8 mm:stä 13,1 mm:iin. (Sikanen & Vilppo 2011, 1-6.)

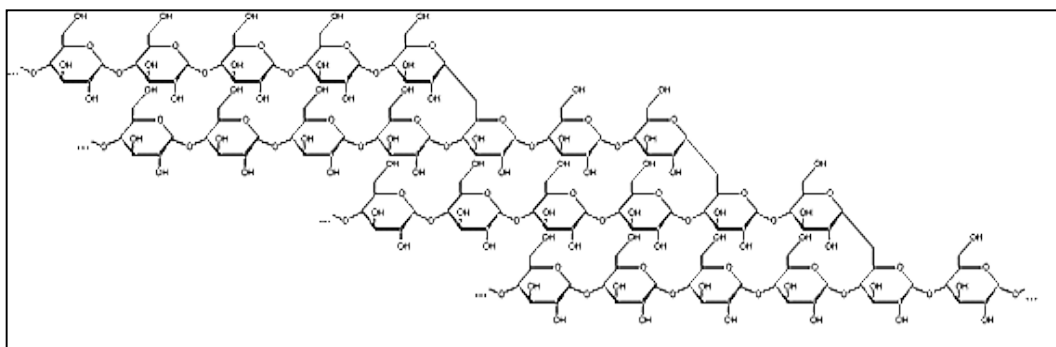
Polttoainepelletin sideaineista tehokkaimpina pidetään peruna- ja maissitärkkelystä sekä lignosulfaattia, joka on rakenteeltaan pitkälti ligniiniä muistuttavaa sulfaattiselluloosan sivutuotetta. Vehnä- ja perunatarkkelykset natiivi- tai hapetetussa muodossa kasvattavat pelletin kestävyyttä annostuksen kasvaessa. Tutkimuksessa on huomattu myös maissitärkkelyksen ja lignosulfaatin positiiviset vaikutukset lujuusominaisuuksiin, mutta näiden on todettu alentavan pelletin lämpöarvoa sekä kasvattavan huomattavasti hiilimonoksidipäästöjä. (Tarasov, Shahi & Leitch 2013, 2.)

Samanlinjaisia tuloksia ovat tuottaneet myös suomalaiset ja muut eurooppalaiset tutkimukset, joista eräässä huomattiin tärkkelyksellä olevan myös tuotantoprosessin energiatehokkuudelle hyödyllinen vaikutus. Kyseinen keskieuropalainen tutkimus jossa puupelletit valmistettiin poppelista, laski lisääaineettoman puupelletin valmistukseen kuluvan noin 138 kWh energiaa jokaista kuivaa pellettitonnia kohti. Kun raaka-aineeseen lisättiin 2,5 % maissitärkkelystä, kuivan pellettitonnin tuotannon energiankulutus laski 79 kWh:n. Energiatehokkuuden paranemisen todettiin johtuvan tärkkelyksessä esiintyvien lipidien, eli solukoiden

rasvojen ja rasvamaisten yhdisteiden voiteluominaisuuksista. (Mediavilla, Esteban & Fernández 2012, 7-15).

2.4.1 Tärkkelys ja sen toiminta

Tärkkelys (Kuvio 7.) on yksi kolmesta hiilihydraatin alalajista sokerin ja selluloosan ohella. Se on selluloosan jälkeen yleisin kasvikunnan polysakkaridi, rakenteeltaan entsyymien vaikutuksesta polymeroitunut D-glukoosi.

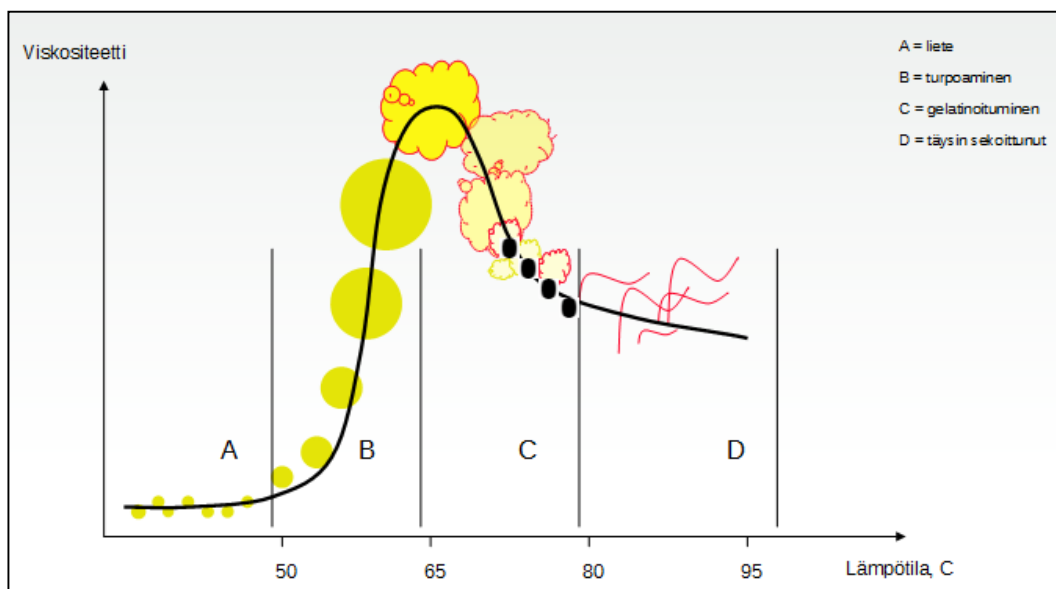


Kuvio 7: Tärkkelyksen kemiallinen rakenne

Tämän polysakkaridin muodostuminen luonnossa on vihreiden kasvien keino varastoida energiaa, ja se tapahtuu kasvilla fotosynteesin kautta. Kasvista erotettu puhdas tärkkelys on pienistä molekyylikeskittymistä, granuleista muodostuvaa hajutonta, mautonta ja väriltään valkeaa jauhetta. Puhtaana se ei liukene kylmään veteen eikä alkoholiin. Arkisesti tärkkelys tunnetaan parhaiten maissi-, peruna- ja vehnäjäuhon muodossa, teollisuudessa sitä käytetään muunmuassa paperin sekä liimojen ja tekstiilien valmistuksessa.

Tärkkelyksen toiminta liima-, täyte- tai sakeutusaineena perustuu gelatinoitumisena tunnettuun granuleiden turpoamiseen, hajoamiseen ja lopulta kemiallisten sidosten syntymiseen. Tärkkelysmolekyylissä korkea vapaiden hydroksyyliyhdyntien määrä altistaa sen muodostamaan vetysidoksia selluloosakuitujen kanssa. Gelatinoiminen on periaatetasolla yksittäisten tärkkelysmolekyyliden vapauttamista granuleista, joka toteutetaan nostamalla lämpötilaa tärkkelystä kostuttavassa nesteessä.

Seuraavassa kuvassa (Kuvio 8.) on esitetty lämpötilan nousun vaikutuksesta tapahtuva tärkkelysgranulin muodonmuutoksen eli gelatinoitumisen tapahtumaketju ja sen vaikutus viskositeettiin. Kuva on suuntaa-antava, sillä tärkkelysmaatut eroavat gelatinoimiskäyttäytymiseltään toisistaan. Yksittäisten laatuojen tarkempaa käyttäytymistä ja vaikutuksia sideaineena voidaan ennustaa tärkkelyskohtaisista gelatinoimisprofiileista.



Kuvio 8. Tärkkelysgranulin gelatinoituminen (Haarla 2014)

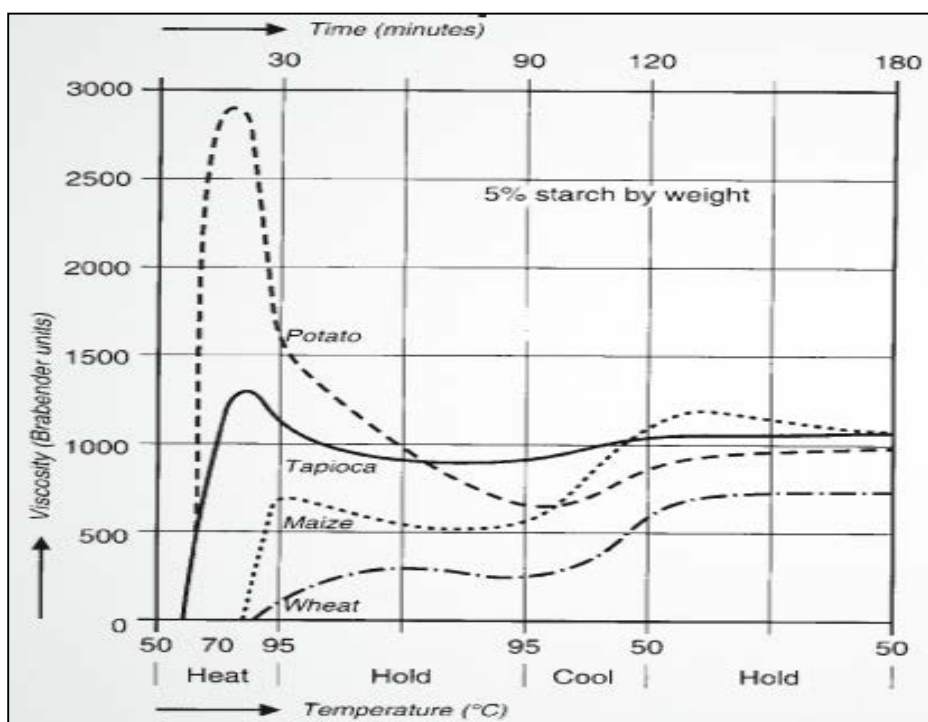
Granuli turpoaa noin 65 °C lämpötilaan asti, minkä jälkeen molekyylejä alkaa vapautua. Täysin sekoittuneessa eli kolloidaalissa tilassa noin 80 °C lämpötilassa kaikki tärkkelysmolekyylit ovat vapautuneet. Tärkkelyksen lämpötilakäyttäytymisessä on huomattava, että 100 °C ylittävä lämpötila ei lisää gelatinoitumista, ja 150 °C lämpötila korventaa tärkkelyksen jolloin se menettää liima-ominaisuutensa. Käyttö sideaineena vaatii siis tarkkaa lämpötilanhallintaa, sillä pellettiprosessin toimiminen edellyttää aiemmin mainitun lingiinin pehmenemisen 100 – 130 °C lämpötilassa. (Nalkki 2014.)

Punaisina viivoina kuvassa esitetyt molekyylit ovat joko haaroittumatonta amyloosia tai haarautunutta amylopektiiniä. Näiden suhde tärkkelyslaatujen välillä vaihtelee, mutta Brown & Poon (2005, 12-32) toteaa sen olevan yleisesti välillä 20-25 % amyloosia ja 75-80 % amylopektiiniä. (Sikanen & Vilppo 2011, 4.)

2.5 Tärkkelyslaadut

Tutkimukseen päätyvien tärkkelysten ensimmäiset karsinnat tehtiin teoriaosuuden aikana lähinnä palo- ja hiukkaspäästöominaisuuksien näkökulmasta, minkä jälkeen karsiutuneista laaduista tehtiin lopullinen seitsemän sideaineen valikoima Haarla Oy:n myyntiedustajan konsultoinnin pohjalta. Keskusteluissa painottui tärkkelyksen hinta, hintatason luotettavuus sekä laadun soveltuvuus Versowoodin puupelletin tuotantoprosessiin. Koetulosten vertailukelpoisuuden vahvistamiseksi valikoimaan sisällytettiin myös sitomisominaisuuksiltaan heikommaksi oletettuja laatuja.

Tuotantoteknisesti merkityksellisimmäksi valintakriteeriksi nousi sideaineiden toiminnan ennustettavuus gelatinoimisprofiiliin kautta. Seuraavassa kaaviossa on esimerkkinä peruna-, tapioka-, maissi- sekä vehnä-natiivitärkkelysten gelatinoimisprofiilit. Profiilissa (Kuvio 9.) esitetään viskositeetin muutos lämpötilan ja ajan funktiona. Huomattavaa on, että lisäaineen pitoisuus profiilissa on 5 painoprosenttia, joka ylittää EU:n standardien määräämät rajat yli kaksinkertaisesti.



Kuvio 9. Esimerkkejä gelatinoimisprofiileista (Haarla 2014)

Konsultoinnin jälkeen perunatärkkelys vaikutti ylivoimaisen toimivalta ratkaisulta, jonka ohelle tutkimukseen valittiin yhteensä viisi jauhemaista tärkkelystä sekä kaksi nesteytettyä sideainetta. Kaikki jauhemaiset tärkkelykset hankittiin natiivitärkkelyksinä, sillä hapetettujen tai esigelatinoitujen tärkkelysten markkinahinnat ovat moninkertaiset natiiveihin verrattuna. Hinnan nousu on tärkkelyksen käytössä merkittävä haitta, sillä sideaineiden vaikutukset ovat suhteellisia tuotetun pelletin kunkinhetkiseen laatuun. Tämän vuoksi kelvottoman pelletin parantaminen yksityisasiakkaiden vaatimalle tasolle sideainein vaatii jatkuvassa käytössä niin suuria sideainevolyymejä, ettei käyttö ole taloudellisesti perusteltavissa.

Jauhemaiset testeihin valikoituneet natiivitärkkelykset olivat tapiokaa, perunaa, maissia, ohraa ja vehnää. Testeihin valittiin tärkkelysten lisäksi kaksi nestemäistä sideainetta: nesteytetty ligniini, joka on koostumukseltaan 20 % lignosulfaatti-vesiliuosta, sekä niin kutsuttu IBC-liuos, joka on vedellä nesteytettyä perunatärkkelystä. Nestemäisten sideaineiden sisällyttäminen tutkimukseen perustuu aiemmin eriteltyihin gelatinoimisen fysikaalisiin vaatimuksiin, joiden valossa neste teoriassa edesauttaa lämmön- ja kosteudensiirtymisen kautta sideaineen gelatinoimista.

2.5.1 Tapiokatärkkelys

Tapioka on Etelä-Amerikasta kotoisin olevan kassava- eli maniokkipensaaseen mukuloista valmistettua tärkkelystä. Maniokki on Suomessa melko tuntematon, päiväntasaajalla hyvin yleinen ruokakasvi, joka tekee 30-60 cm pitkiä erittäin tärkkelyspitoisia ja lähes proteiinittomia mukuloita. Tapioka valmistetaan perinteisesti suurimoiksi, joista hienonnetaan tapiokatärkkelysjauhetta. Käytössä ollut tärkkelyserä oli Emsland-Starke Asia Pacific Pte Ltd:n valmistamaa kauppanimikettä Emes 100 Modif. Tapioca Starch, ja sen tuotetiedot on eritelty liitteessä 1.

2.5.2 Perunatärkkelys

Perunatärkkelys on murskatuista perunoista eristettyä ja kuivattua jauhetta. Tärkkelyksen valmistamista varten on jalostettu erityisen tärkkelyspitoisia perunalajikkeita, joista kylmään veteen liukenemattomat tärkkelysgranulit erotetaan erityisellä pesumenetelmällä. Perunatärkkelys on erittäin puhdasta tärkkelystä, eli se sisältää hyvin vähän proteiinia tai rasvoja. (Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos 2013.) Se tunnetaan hyvistä sitomisominaisuuksista, vahvasta turpoamisesta ja matalasta gelatinoimislämpötilasta.

Koska perunatärkkelys oli testien ennakkosuosikki, päätettiin tutkimuksessa käyttää taloudellisuuden edistämiseksi II-laadun tuotetta. Testeihin sisältyvä hienoperunajauho sekä IBC-liuos ovat käytännössä perunatärkkelyksen eri olomuotoja. Hienopöly on tärkkelysprosessin tuotteistamaton sivutuote, josta ei ole saatavilla tuotetietoja. IBC-liuos on Chemigate Oy:n valikoimasta poistuvaa Raisabond-tärkkiliimaa, josta ei ollut saatavilla tuotetietoja. Natiiviperunatärkkelyksen tuotetiedot on eritelty liitteessä 2.

2.5.3 Maissitärkkelys

Maissitärkkelys on maissinjyvien endospermistä, eli jyvän ytimessä sijaitsevasta energiavarastosta eristettyä tärkkelystä. Se on vanhin ja teollisesti laajimmin käytetty tärkkelys, jonka käyttösovellukset vaihtelevat sokerinvalmistuksesta tekstiilien tärkkäämiseen ja biopolymeereihin. Maissitärkkelys omaa heikohkot turpoamisominaisuudet, mutta hyvät liimaominaisuudet. Maissitärkkelys sisältää perunatärkkelystäkin vähemmän proteiinia, mutta hieman enemmän rasvaa joka parantaa tärkkelyksen voiteluominaisuuksia. (Terveysten- ja hyvinvoinnin laitos 2013) Tämän sideaineen käytössä on noudatettava erityistä varovaisuutta, sillä maissitärkkelys on luonteeltaan arvaamatonta. Veteen tai öljyyn sekoitettuna se muodostaa niin sanottuja epänewtonilaisia nesteitä, joiden viskositeetti vaihtelee rajusti sähkökentän tai paineen vaihteluiden vaikutuksesta. (Elsevier 2015). Testatun maissitärkkelyksen tuotetiedot on eritelty liitteessä 3.

2.5.4 Ohratärkkelys

Ohra on maailman vanhimpia ja eniten viljeltyjä lajeja (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2015), josta on sittemmin jalostettu tärkkelyspitoisia lajikkeita teollisuuden tarpeisiin. Ohratärkkelys on yksivuotisen, pitkistä vihneistä tunnistettavan viljalajin siemenytimistä eristettyä tärkkelystä. Puhdistettu tärkkelys koostuu 98 %:sti hiilihydraatista, 1 % rasvasta ja 1 % kuidusta (Terveysten- ja hyvinvoinnin laitos 2013). Jauhemainen tärkkelys on turpoamisominaisuuksiltaan heikkoa, ja sitä käytetäänkin ensisijaisesti paperi- ja kartonkiteollisuudessa sekä panimo- ja muussa elintarviketuotannossa (Altia 2013). Testauksessa käytetty tärkkelys oli Altia Oyj:n kauppaamaa ohratärkkelysjauhetta, ja sen tuotetiedot on eritelty liitteessä 4.

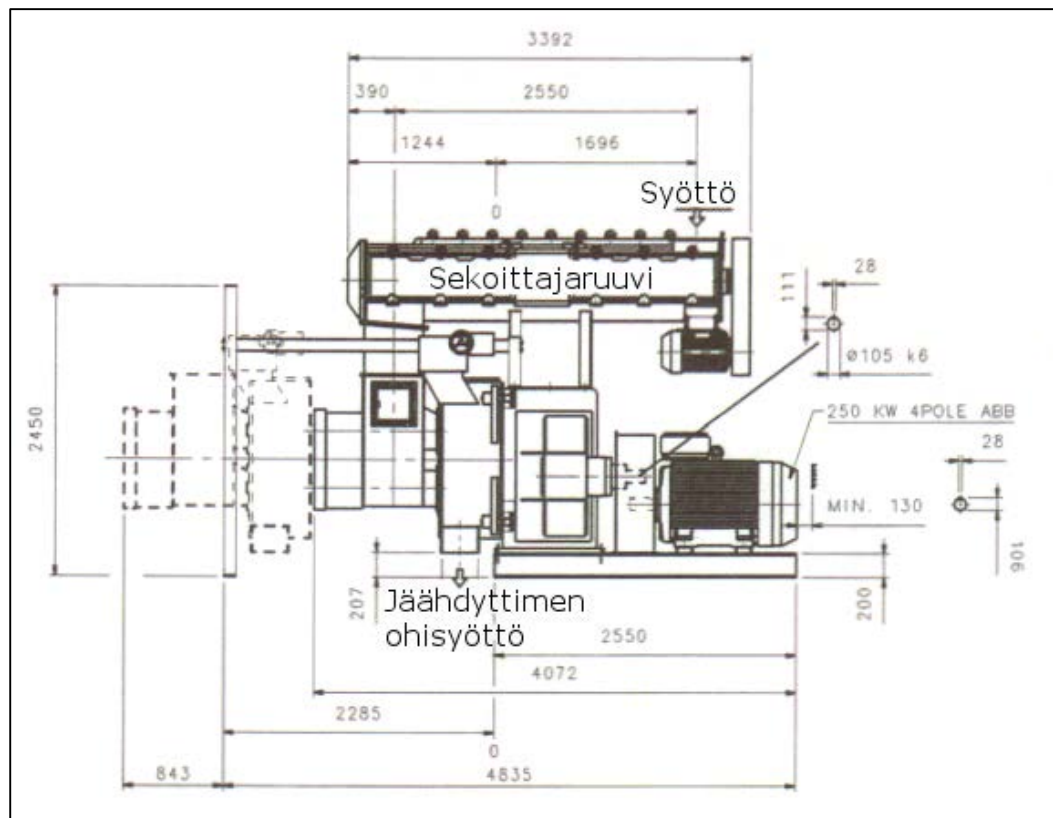
2.5.5 Vehnätärkkelys

Vehnällä on maailman viljalajeista suurin vuotuinen tuotanto ja suurimmat markkinat. (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2015). Teollisuuteen jalostetuista lajikkeista syntyy tärkkelystuotannon sivutuotteena gluteenia, josta tärkkelysgranulit erotellaan. Tehokkain ja yleisin gluteenin ja tärkkelyksen erottelumenetelmä perustuu lietteytyksen ja kylmävesipesun vuorotteluun. Vehnätärkkelys nähdään toisinaan gluteenituotannon sivutuotteena, sillä molemmat jalosteet edustavat noin puolta markkina-arvosta (International Starch Institute 2014). Yleisesimmin vehnätärkkelystä käytetään paperi- ja tekstiiliteollisuudessa sekä elintarviketeollisuudessa. Testauksessa käytetty erä oli Crespel & Deiters GmbH:n kauppanimellä Definol myytävää natiivivehnätärkkelystä, ja sen tekniset tiedot on eritelty liitessä 5.

3 KOKEELLINEN OSA

3.1 Testisuunnittelu

Sideaineiden vaikutusten selvittämiseksi jauhemaisille ja nestemäisille aineille laadittiin erilliset syöttökaavat ja simuloitiin syöttö-ohjelma. Tutkimuslaitteistoksi valittiin pilot-mittakaavan pienpuristimen sijaan teollinen massatuotantoyksikkö, jotta jatkuvassa tuotannossa esiintyvät ongelmat saataisiin selville. Puristimina tutkimuksessa toimi kaksi Andritz Sproutin PM30 –pellettikonetta (Kuvio 10.), joka on kaikkein raskaimpiin pelletöintitehtäviin tarkoitettu valmistajan erikoismalli (Andritz 2014).



Kuvio 10. Andritz PM30 rakennekuva (Andritz 2013)

Syöttö tulee toteuttaa niin, että voidaan varmistua sideaineenaineen täydellisestä kulkeutumisesta lopputuotteeseen. Tämän vuoksi syöttö tehdään teollisissa yksiköissä yleensä juuri ennen sekoittajaruuvia. (Tarasov, Shahi & Leitch 2013, 2). Jotta puristimenjälkeiset prosessin vaikutukset kuten käsittelykuluminen vältettäisiin, näytteet siepattiin heti pelletin poistuttua puristimen jäähdyttimen ohisyötöstä.

Puristimeen syötettävän raaka-aineen virtausnopeutta voidaan ohjata tietokoneen käyttöliittymästä arvoilla 0 – 100 %, joka ilmaisee syöttöruuvien pyörimisnopeuden suhdetta maksiminopeuteen. Käytännön kokeiluissa on huomattu että syöttönopeus voidaan nostaa maksimissaan noin 40 % arvoon, jonka ylittävä syöttönopeus aiheuttaa raaka-aineen ruuhkautumista puristuskammioon ja aiheuttaa muun muassa tulipalon vaaran. Yleisesti tuotannossa käytetään syöttöruuvien arvoja 26 – 38 % (Laaksonen 2015). Kokeissa keskimääräiseksi syöttöarvoksi valittiin 30 %, jotta ruuhkautumisen riski minimoituu ja varmistutaan sideaineen täydellisestä kulkeutumisesta puristimen läpi.

3.1.1 Syöttöaika

Ennen sideaineiden lisäystä prosessiin selvitettiin aika, jossa 30 % nopeudella pyörivä syöttöruuvi kuljettaa syöttöluukusta annostellun sideaineen puristimen läpi. Aika selvitettiin syöttämällä puristusprosessiin rautaoksidimaalilla värjättyä raaka-ainetta ja tarkkailemalla jäähdyttimeen siirtävän kuljettimen ohisyötöstä pelletin värjäytymistä. Täysin värjäytyneen pelletin havainnot ilmaisivat hetken, jolloin värjätty raaka-aine oli syrjäyttänyt rengasmatriisin puristuskanaviin työntyneen puhtaan raaka-aineen täydellisesti. Tämä aika oli noin 200 – 220 s syötön aloittamisesta, jonka valossa sideaineiden syötön kestoksi valittiin 300 sekuntia. Sideaineellinen pellettinäyte siepattiin aiemmin mainitusta jäähdytinkuljettimen ohisyötöstä 240 s:n kuluttua syötön aloittamisesta.

3.1.2 Syöttömäärät

Syöttöruuvien 10 % pyörimisnopeuden tiedettiin keskimääräisellä raaka-aineen tiheydellä vastaavan noin 760 kg:n raaka-ainekulutusta ($SR_{10\%}$). Tästä laskettiin raaka-aineen kulutus minuutissa 30 % syöttönopeudella ($SR_{30\%}$) käyttäen kaavaa:

$$SR_{30\%} = \frac{SR_{10\%} * 3}{60min} = \frac{2280kg}{60min} = 38,0kg$$

Standardinmukainen sideaineen maksimipitoisuus polttoainepelletissä on 2,0 painoprosenttia kokonaismassasta (Laaksonen 2012).

Sideainepitoisuuksien vaikutusten vertailemiseksi suhteessa sideaineille valittiin lisäksi tätä pienempiä syöttöluokkia. Jauhemaisten sideaineiden syöttöluokiksi valittiin 0,50 %, 1,00 %, 1,50 % sekä 2,00 %. Nestemäisten sideaineiden käytössä vallallaoleva käsitys on, että vaikutukset näkyvät paremman lämmönsiirtymisen vuoksi jo hyvin vähäisissä annostelumäärissä (Nalkki 2014). Tämän vuoksi nestemäisille sideaineiden testaukseen valittiin lisäksi 0,25 % ja 0,75 % syöttöluokat. Luokkia vastaavat sideaineen kulutusmäärät muunnettiin 300s syöttöajalle raaka-aineen minuuttikulutuksesta seuraavasti:

Sideaineen kokonaiskulutus, kun sideainepitoisuus on 0,25 %:

$$M_{0,25\%} = (SR_{30\%} * 0,25\%) * 5min = (38000g * 0,0025) * 5 = 475g$$

Pitoisuus 0,50 %

$$M_{0,50\%} = (SR_{30\%} * 0,50\%) * 5min = (38000g * 0,005) * 5 = 950g$$

Pitoisuus 0,75 %

$$M_{0,75\%} = (SR_{30\%} * 0,75\%) * 5min = (38000g * 0,0075) * 5 = 1425g$$

Pitoisuus 1,00 %

$$M_{1,00\%} = (SR_{30\%} * 1,00\%) * 5min = (38000g * 0,01) * 5 = 1900g$$

Pitoisuus 1,50 %

$$M_{1,50\%} = (SR_{30\%} * 1,50\%) * 5min = (38000g * 0,015) * 5 = 2850g$$

Pitoisuus 2,00 %

$$M_{2,00\%} = (SR_{30\%} * 2,00\%) * 5min = (38000g * 0,02) * 5 = 3800g$$

Jauhemaisten sideaineiden annostelu toteutettiin punnitsemalla tarvittava määrä sideainetta mitta-astiaan, josta aine annosteltiin portautetusti syöttöruuvien jälkeiseen sekoittajaan. Portauttamisen merkitys on taata tasainen sideainesyöttö ja vähentää näytteen sisäistä laadun hajontaa.

Portaus toteutettiin kahdella pienellä mitta-astialla, joiden maksimivetoisuudet olivat noin 20 g ja 90 g. Virhemarginaaliksi reunaan merkittiin kunkin sideaineen täyttörajat vastaamaan 18 g:n ja 87 g:n tilavuutta, ja näiden pohjalta laskettiin syöttöhetkien kokonaismäärä ($n_{\text{syöttö-\%}}$) ja niiden intervalli hajautettuna 300 s:n syöttöaikaan ($t_{\text{syöttö-\%}}$) seuraavasti:

$$t_{0,50\%} = \frac{300s}{n_{0,50\%}} = \frac{300s}{\left(\frac{m_{0,50\%}}{18g}\right)} = \frac{300s}{\left(\frac{950g}{18g}\right)} = \frac{300s}{52,778} = 5,684s$$

$$t_{1,00\%} = \frac{300s}{n_{1,00\%}} = \frac{300s}{\left(\frac{m_{1,00\%}}{87g}\right)} = \frac{300s}{\left(\frac{1900g}{87g}\right)} = \frac{300s}{21,839} = 13,747s$$

$$t_{1,50\%} = \frac{300s}{n_{1,50\%}} = \frac{300s}{\left(\frac{m_{1,50\%}}{87g}\right)} = \frac{300s}{\left(\frac{2850g}{87g}\right)} = \frac{300s}{32,759} = 9,158s$$

$$t_{2,00\%} = \frac{300s}{n_{2,00\%}} = \frac{300s}{\left(\frac{m_{2,00\%}}{87g}\right)} = \frac{300s}{\left(\frac{3800g}{87g}\right)} = \frac{300s}{43,678} = 6,868s$$

Intervallien avulla laadittiin kullekin annosmäärälle syöttö-ohjelma, josta annostelun kulkua seurattiin sekuntikellolla. Syöttö-ohjelmia on taulukoitu testatuille sideainepitoisuuksille liitteessä 6.

Nestemäisten sideaineiden annosteluun käytettiin HVLP (high volume, low pressure) –tekniikkaan perustuvaa Bosch PFS 5000E –maaliruiskua, jonka varasäiliöihin mitattiin minuutin syöttöä vastaavia painoeriä. Nesteytetyn ligniinin ja IBC-liuoksen syöttönopeudet määritettiin pilot-ajoilla, joissa HVLP-ruiskun suutinneulan syvyyttä muuttamalla määritettiin säiliön tyhjenemisnopeus. Ruiskussa käytettiin korkeaviskositeettisen massan ruiskuttamiseen tarkoitettua 2,5 mm:n suutinta.

3.2 Testilaitteisto

Hienoainepitoisuutta lukuunottamatta pelletin laatuominaisuudet mitattiin laboratoriossa. Testilaitteistoon sisältyivät työntömitta, automaattinen kosteusmittari, kuvion 4 mukainen kestävyysmittauslaite sekä tarkkuusvaaka irtotiheyden ja hienoainepitoisuuden määrittämistä varten.

Kosteusmittari Precisa XM-60 on koteloitu halogeeni- tai infrapunasäteilijällä varustettu tarkkuusvaaka, joka haihduttaa lämpösäteilijällä raaka-aineessa esiintyvän veden ja laskee kosteusprosentin kuivan näytteen loppupainosta suhteessa alkupainoon. XM-60:n maksimikapasiteetti näytteelle on 124 g, mittaustarkkuus 0,001 g ja säteilijän lämpötila-alue 230 °C. (Precisa 2015.)



Kuvio 11. Precisa XM-60 (Precisa 2015)

Näytteen mekaanista kestävyyttä koestettiin Holmen NHP 100–kestävyysmittarilla. Mittauslaite simuloi pelletin käsittely- ja varastointikulumista törmäyttämällä tuotetta ilmvirran voimalla, poistaen irtoavan hienoaineen (Holmen 2012). Mekaanisen kestävyuden mittaamisessa käytettiin lisäksi Precisa BJ 6100D -tarkkuusvaakaa, jolla määritettiin myös näytteen irtotiheys sekä tuotannossa syntyvän hienoaineen suhde näytteen kokonaispainoon. Vaa'an tarkkuus on 0,1 g, toistettavuus 0,1 g ja lineaarisuus 0,2 g (Precisa 2015).



Kuvio 12. Holmen NHP 100 (Holmen 2012)



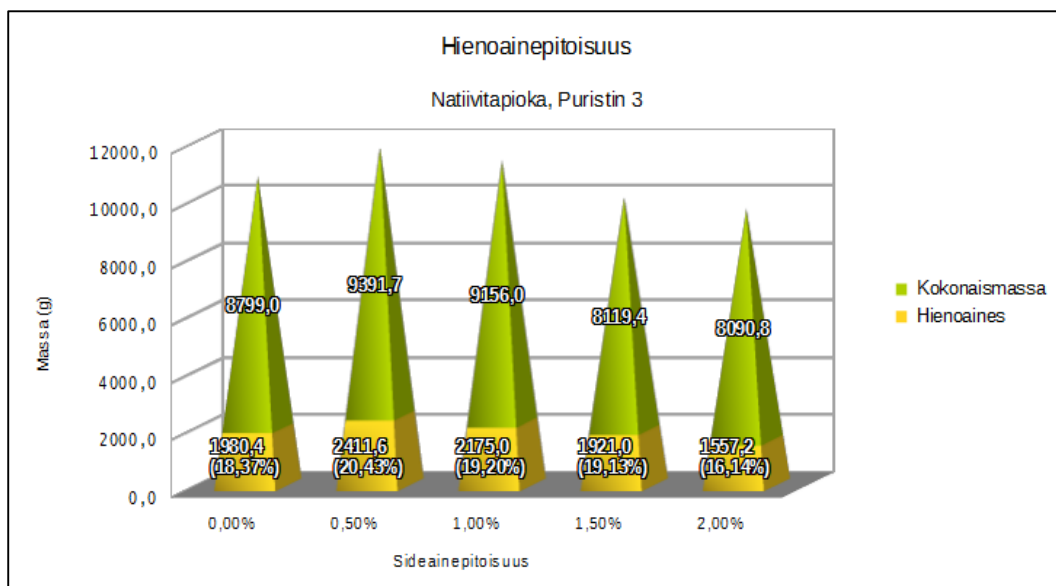
Kuvio 13. Precisa BJ 6100D (Precisa 2015)

4 TULOKSET

Tässä osuudessa eritellään kunkin tärkkelysلاادun testeissä havaitut vaikutukset pelletin laatuominaisuuksiin. Kaavioissa ja selosteissa esiintyvät P2 ja P3 edustavat pellettitehtaan puristimia 2 ja 3. P2 on varsinainen testipuristin, johon sideaineet syötettiin, P3 taas tuotannon vertailupuristin, jonka arvot vastaavat kunkin hetken pelletin laatua ilman sideaineita. Sideaineiden vaikutus nähdään P2- ja P3-puristimien laatujen välisestä erosta. Pitoisuusmerkinnät 0.00 - 2.00% ovat painoprosentteja näytteen kokonaismassasta. Puristimen 3 tapauksessa sideainepitoisuus oli aina 0 %. Sideainepitoisuudet on merkitty kaavioihin helpottamaan vertailua Puristimen 2 kanssa. Kaavioissa esiintyvä suure "kovuus" merkitsee samaa kuin pelletin laatuominaisuuksissa luvussa 2.3.3 esitetty mekaaninen kestävyys.

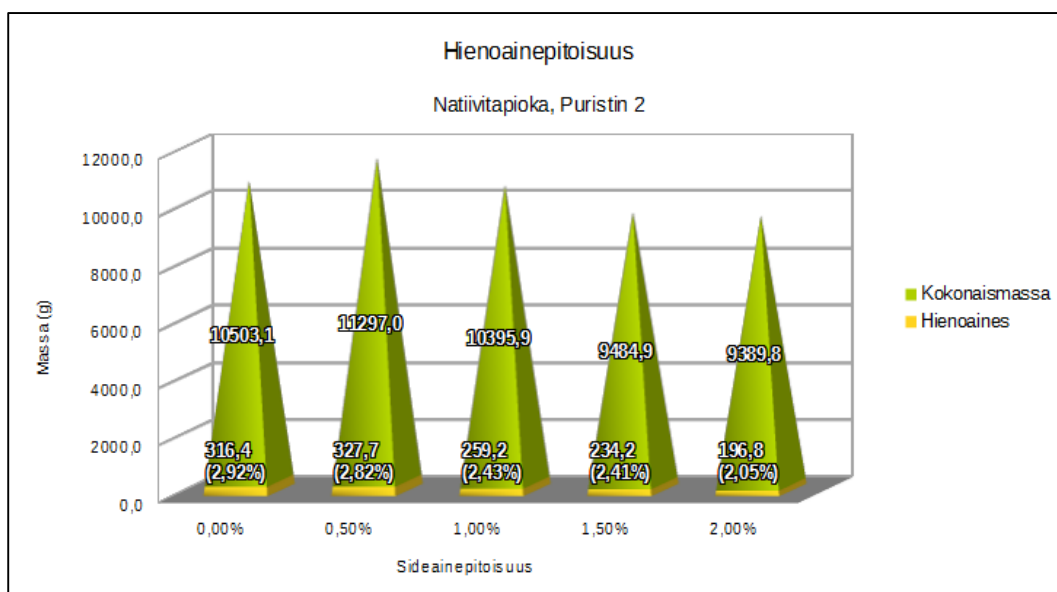
4.1 Tapiokatärbkelys, natiivi

Natiivitapiokatärbkelyksen testausten aikana hienoainepitoisuus ilman sideainetta vaihteli 16,14 % ja 20,43 % välillä, joka merkitsee huomattavaa menetystä materiaali kierron tehokkuudessa. Pitoisuus ei kasva tai laske lineaarisesti.



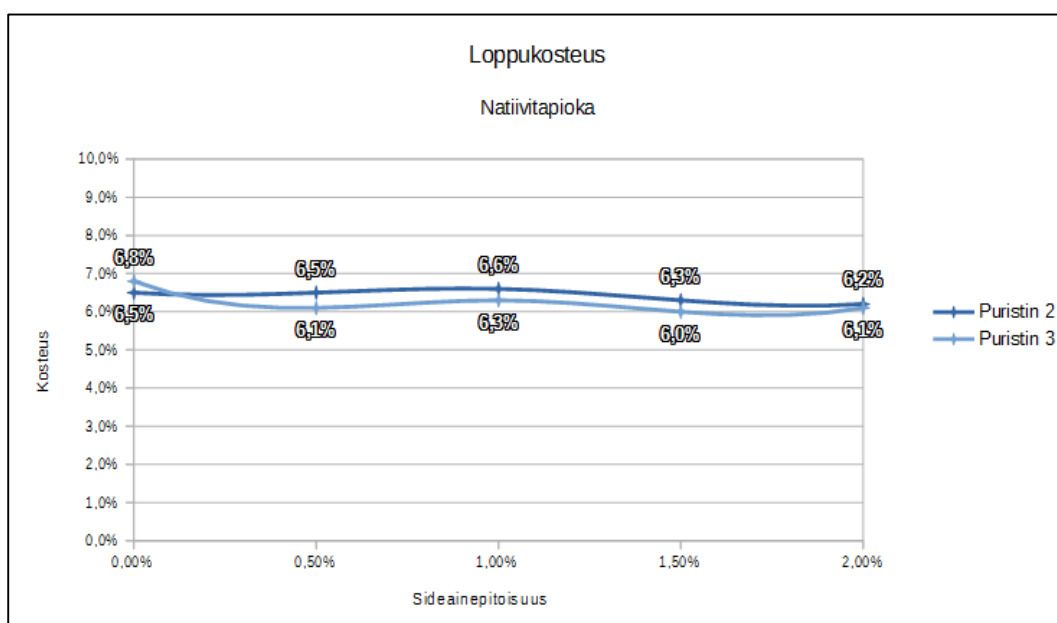
Kuvio 14. Vertailuerän hienoainejakauma

Siirryttäessä 0,00 %:n vertailuerästä 0,50 %:n vertailuerään hienoainepitoisuus kasvaa 2,06 %. Vastaavasti siirryttäessä 1,50 %:n vertailuerästä 2,00 %:n vertailuerään hienoaineessa tapahtuu huomattava 2,99 %:n lasku. Todennäköisenä syynä molempiin ovat raaka-ainepohjan laadun vaihtelut.



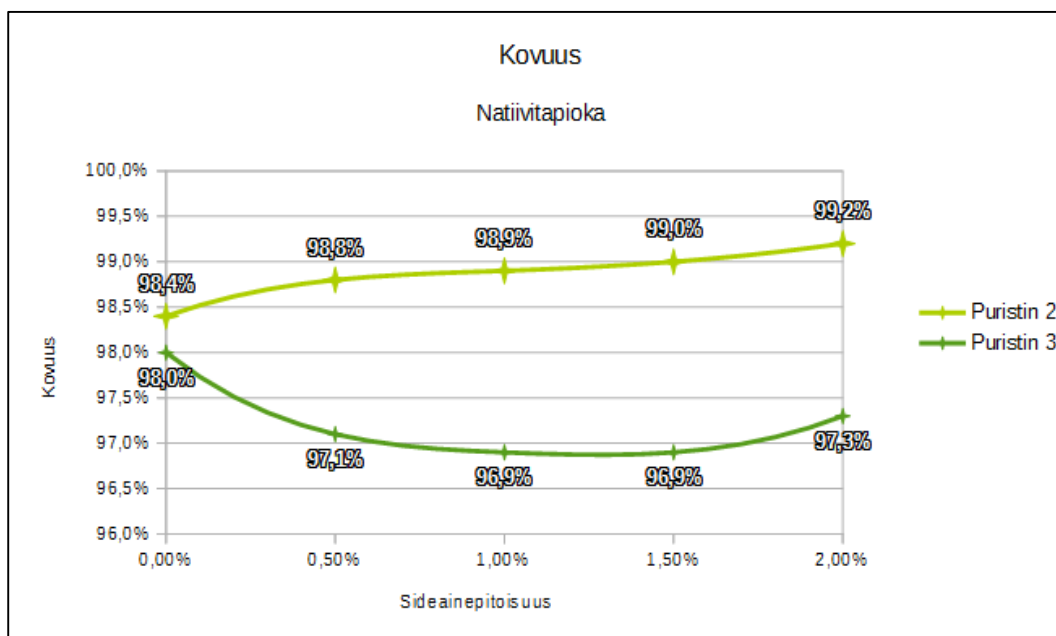
Kuvio 15. Tapiokatärkkelys-erän hienoainejakauma

Sideaineellisen tuotannon hienoainepitoisuus vaihteli välillä 2,92 - 2,05 %. Hienoainepitoisuus laskee lineaarisesti sideainepitoisuuden kasvaessa, kaikkiaan 0,87 %. Vertailtaessa sideaineetonta ja sideaineellista tuotantoa huomataan, että natiivitapiokatärkkelyksellä on hienoaineen vähentämisen lisäksi laatua tasoittava vaikutus. Tämä ilmenee siirtymästä 0.00 - 0,50 %, jossa hienoainepitoisuus laskee 0,10 % lisääineettoman 2,06 %:n lisääntymisen sijaan.



Kuvio 16. Tapiokatärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon kosteusvertailu

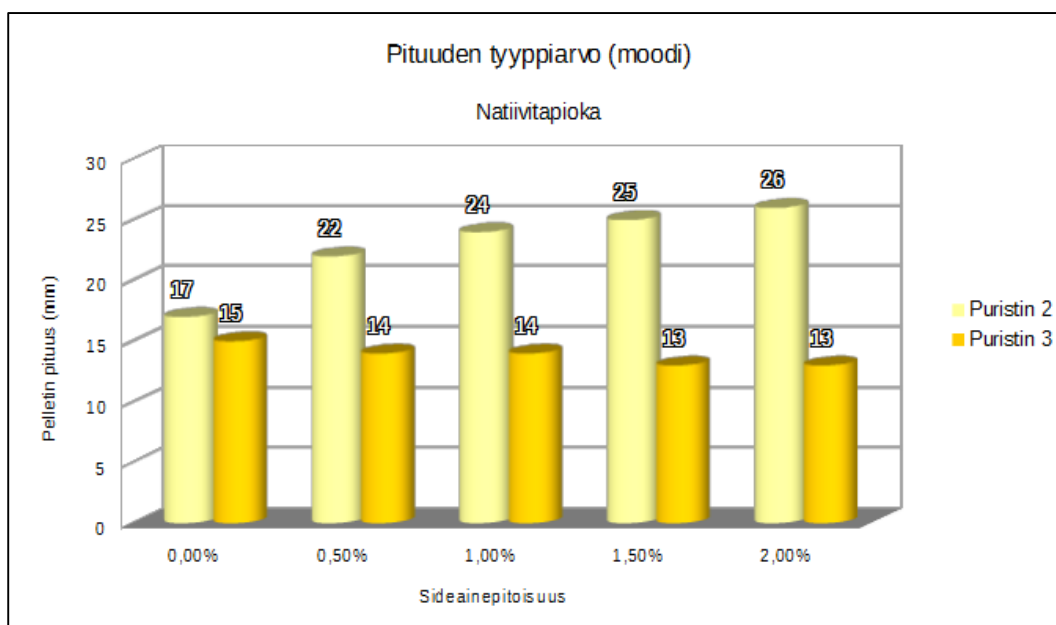
Tuotteen loppukosteus vaihteli sekä sideaineettomassa että sideaineellisessa tuotannossa välillä 6,0 - 6,8 %. Kosteuskäyrät noudattavat toistensa käyttäytymistä, joten natiivitapiokatärkkelyksellä ei voida todeta olevan vaikutusta lopputuotteen kosteuteen.



Kuvio 17. Tapiokatärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon kovuusvertailu

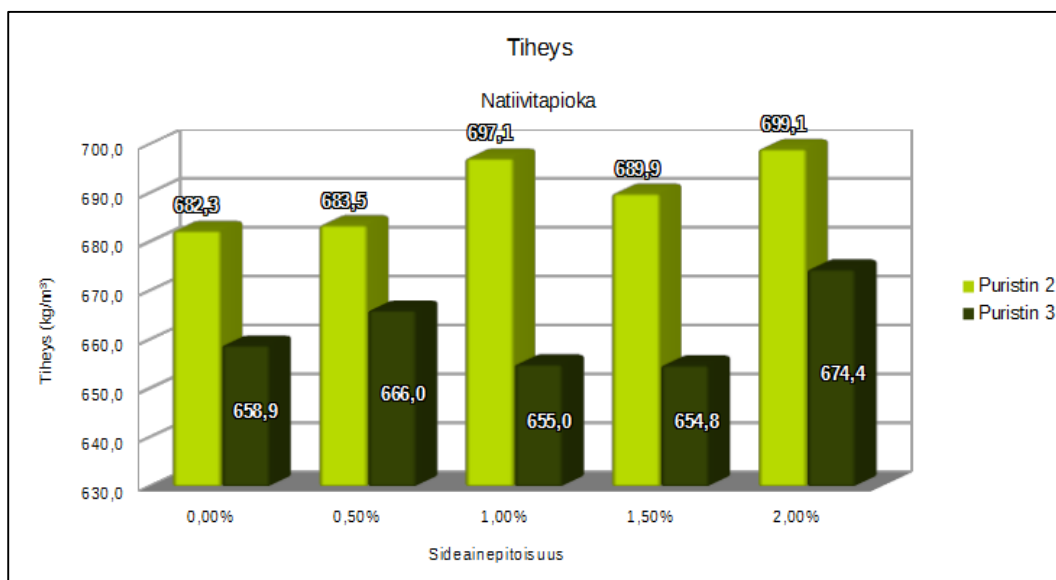
Lopputuotteen kovuuteen tapiokatärkkelyksellä on merkittävä positiivinen vaikutus. Vertailuerän kovuus vaihteli välillä 97,3 - 98,0 %, kun sideainetta käytettäessä kovuus nousi 98,4 %:sta 99,2 %:iin. Voimakkain kehityksessä on siirtymä 0,00 - 0,50 %, jossa sideaineettoman pelletin kovuus laskee 0,9 % sideaineellisen kasvaessa 0,4 %. Suurempien sideainepitoisuuksien kanssa vaikutus on positiivinen, mutta vähäisempi.

Käytettäessä natiivitapiokatärkkelystä pelletin keskimääräinen pituus kasvoi voimakkaasti 9 mm, vertailuerän laskiessa 2 mm. Pituuden kehitys oli voimakkainta välillä 0,00 - 0,50 %, jossa huomattiin jopa 5 mm:n kasvu. Tyyppiarvo ei kasvanut lähelle ylipitkän tuotannon 32 mm:n rajaa.



Kuvio 18. Tapiokatärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon pituusvertailu

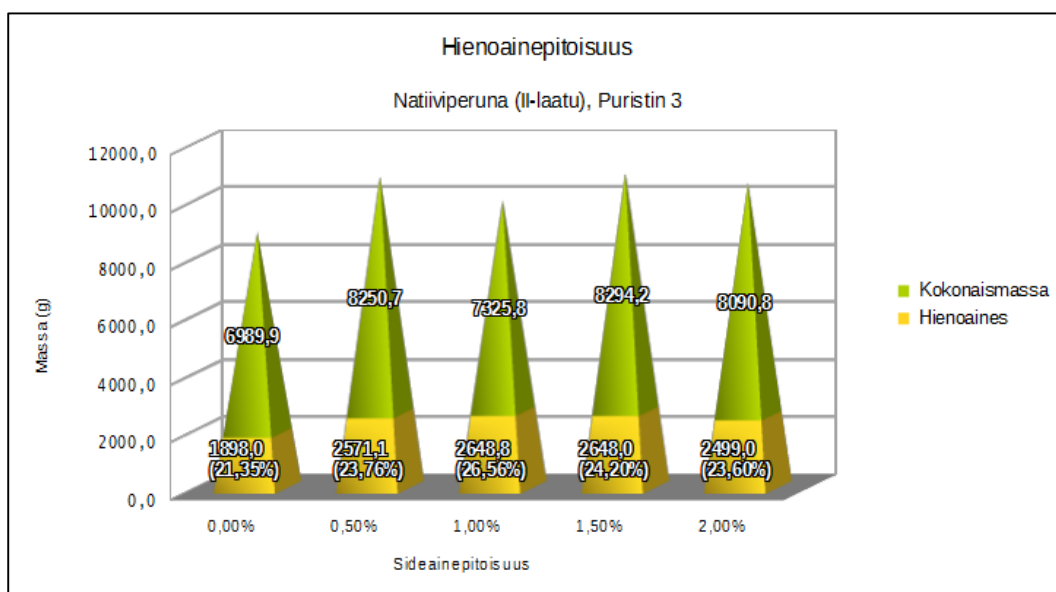
Pelletin tiheys kilogrammoina kuutiometriä kohti kasvoi ja laski sekä sideaineettomassa että sideaineellisessa tuotannossa epärationaalisesti. Sideaineeton kuutiopaino vaihteli välillä 654,8 – 674,4 kg, sideaineellinen taas välillä 682,3 - 699,1 kg.



Kuvio 19. Tapiokatärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon tiheysvertailu

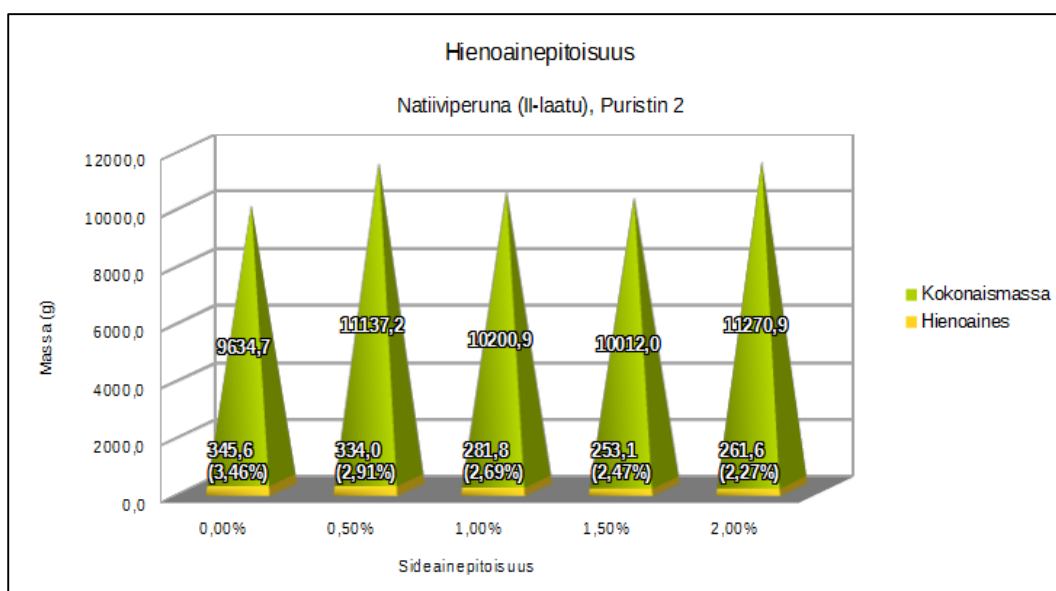
Vaihtelut korreloivat jossain määrin keskenään, mistä voidaan päätellä lopputuotteen tiheyden määräytyvän ensisijaisesti raaka-aineen laadun perusteella.

4.2 Perunatärkkelys, natiivi (II-laatu)



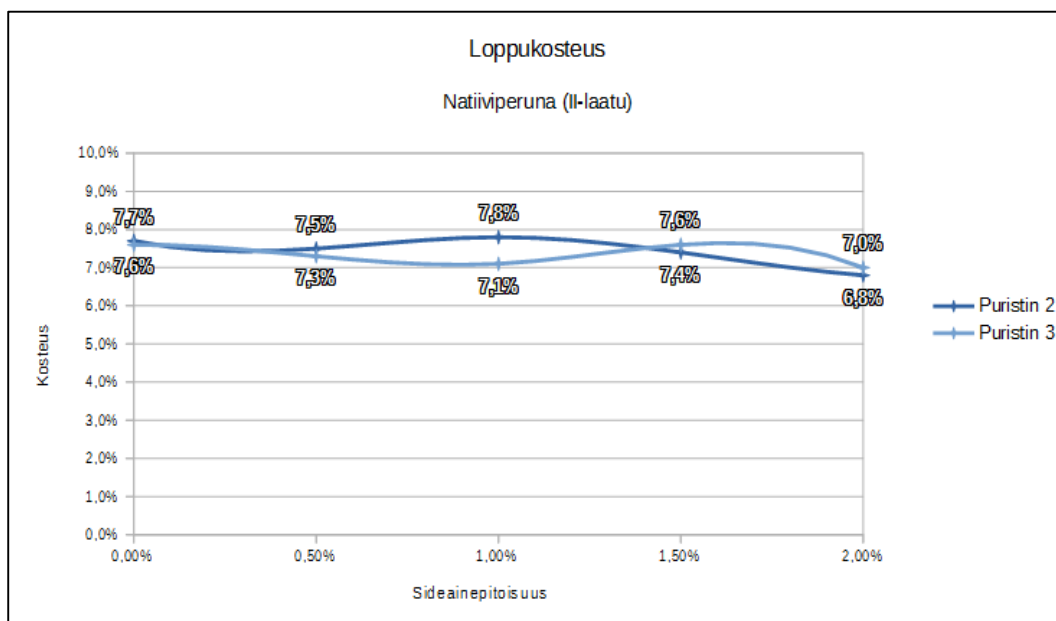
Kuvio 20. Vertailuerän hienoainejakauma

II-laadun perunatärkkelyksen testausten aikana sideaineettoman tuotannon hienoainepitoisuus vaihteli välillä 21,35 - 26,56 %. Pitoisuuden vaihtelut olivat verrattain pieniä, mutta määrät materiaalitehokkuuden kannalta hälyttävän suuria. Suurin vaihtelu tapahtui välillä 0,00 - 0,50 %, jolloin pitoisuus kasvoi 2,41 %.



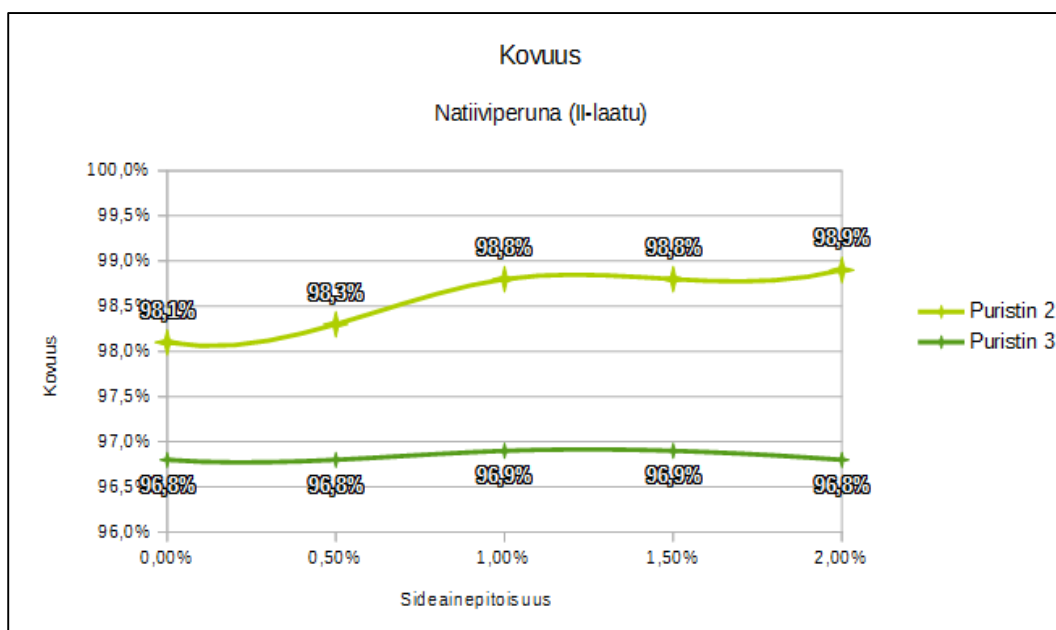
Kuvio 21. Perunatärkkelys-erän hienoainejakauma

Lisättäessä tuotantoon II-laadun perunatärkkelystä hienoainepitoisuus laski 3,46 %:sta 2,27 %:iin. Lasku oli lineaarista lukuunottamatta ensimmäisen 0,00 - 0,50 % siirtymässä tapahtuvaa 0,55 % laskua, joka oli yli kaksinkertainen muiden yhtäsuurien siirtymien vaikutuksiin. Sideaineen annostelun suhteen hyödyllisintä aluetta oli 0,00 - 1,00 %, jossa nähtiin 0,77 % lasku hienoainepitoisuudessa. Vastaava pitoisuus laski 1,00 - 2,00 %:n annosteluiden välillä vain 0,42 %.



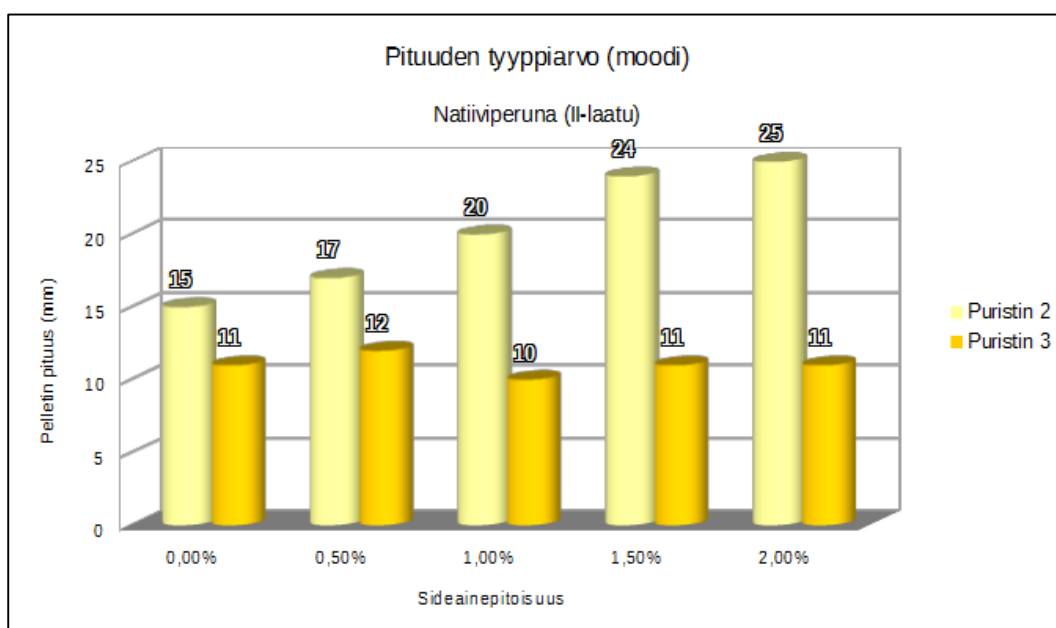
Kuvio 22. Perunatärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon kosteusvertailu

Myöskään II-laadun natiiviperunatärkkelyksen ei huomattu vaikuttavan lopputuotteen kosteuteen. Sekä sideaineettoman että sideaineellisen lopputuotteen kosteudet vaihtelevat irrationaalisesti välillä 6,8 - 7,7 %, eikä kosteuskäyrien käyttäytyminen korreloi annoskoon kasvun kanssa.



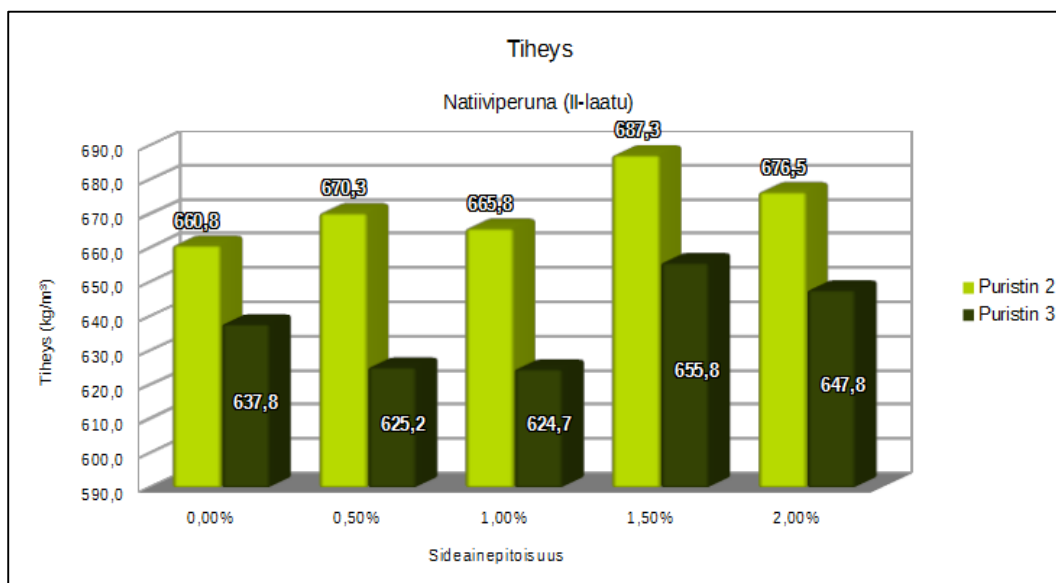
Kuvio 23. Perunatärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon kovuusvertailu

Testien aikana perunatärkkelyksellä huomattiin olevan merkittävä positiivinen vaikutus pelletin kovuuteen. Kovuus pysyi sideaineettomassa vertailutuotannossa tasaisella välillä 96,8 - 96,9 % sideaineellisen tuotannon noustessa 98,1 %:sta 98,9 %:iin. Merkillepantavaa on sideaineen vaikutuksen pysähtyminen 1,00 painoprosentin ylittävissä annoksissa. Kovuuden kannalta annostelu on optimaalinen 0,00 - 1,00 %:n välillä, jolla testeissä saavutettiin 0,7 %:n kasvu.



Kuvio 24. Perunatärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon pituusvertailu

II-laatusella natiiviperunatärkkelyksellä huomattiin olevan erittäin merkittävä kasvattava vaikutus pelletin keskimääräiseen pituuteen. Vertailuerän pituus vaihteli 10 mm:stä 12 mm:iin samalla, kun sideaineellisen tuotannon pituuden moodi kasvoi 15 mm:stä jopa 25 mm:iin. Pituuden kasvu välillä 0,00 - 1,50 % oli eksponentiaalista, mutta välillä 1,50 - 2,00 % enää hyvin vähäistä. Voimakkaimmillaan kasvu oli välillä 1,00 - 1,50 %.

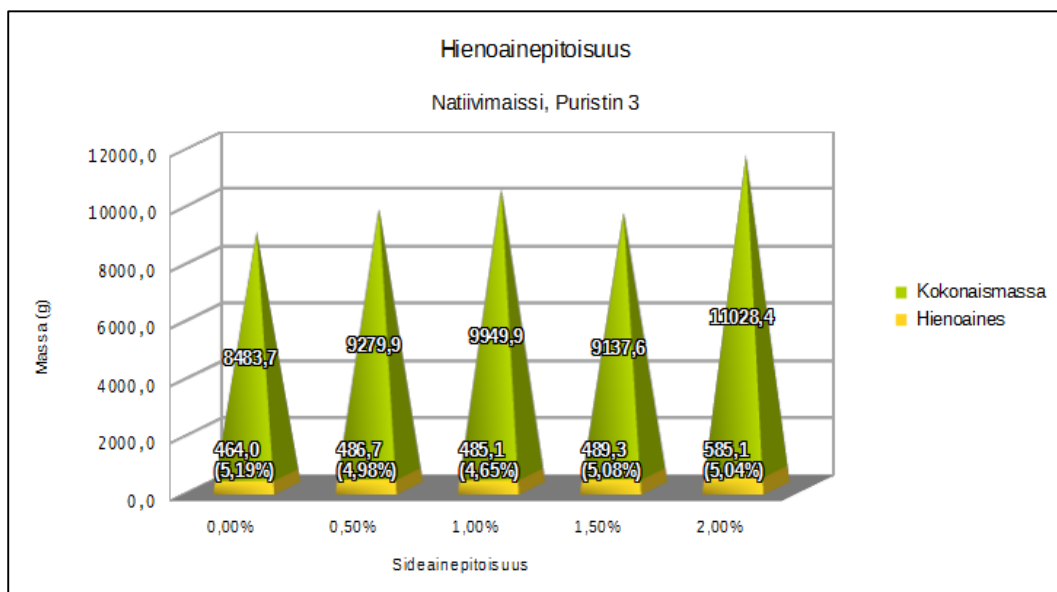


Kuvio 25. Perunatärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon tiheysvertailu

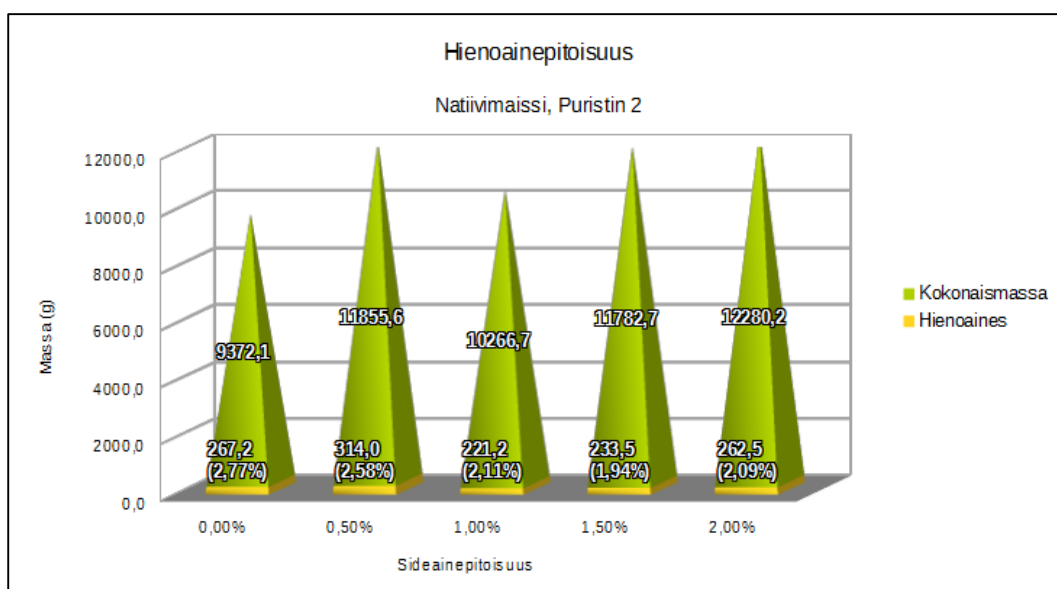
Kuutiopainon vaihtelut sekä sideaineettomissa että sideaineellisissa vertailuerissä olivat perunatärkkelyksen osalta sattumanvaraisia, vaihdellen välillä 624,7 – 687,3 kg. Sekä 1,50 että 2,00%:n sideainepitoisuuden erissä tiheys näytti korkeammalta kuin niitä vähäisemmissä, mutta ilmiö toistui sideaineettomissa erissä jolloin syyksi voidaan lukea raaka-ainepohjan muutokset. Perunatärkkelyksellä ei voida nähdä olevan vaikutusta lopputuotteen tiheyteen.

4.3 Maissitärkkelys, natiivi

Massitärkkelyksen testien aikana sideaineettoman tuotannon hienoainepitoisuus vaihteli välillä 4,65 - 5,19 %. Hienoainepitoisuus laski 0,00 - 1,00 % testierien ajojen aikavälillä kaikkiaan 0,54 %, minkä jälkeen pitoisuus jälleen nousi hieman yli 5,00 %:iin. Raaka-aineen todettiin olevan maissitärkkelyksen testausten aikana keskimääräistä laadukkaampaa.

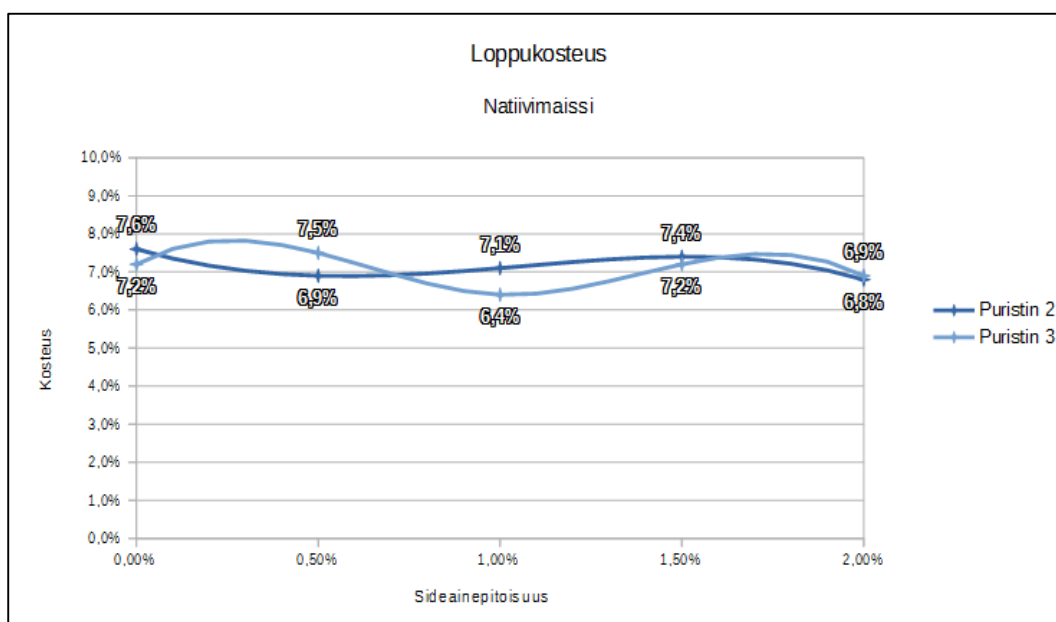


Kuvio 26. Vertailuerän hienoainejakauma



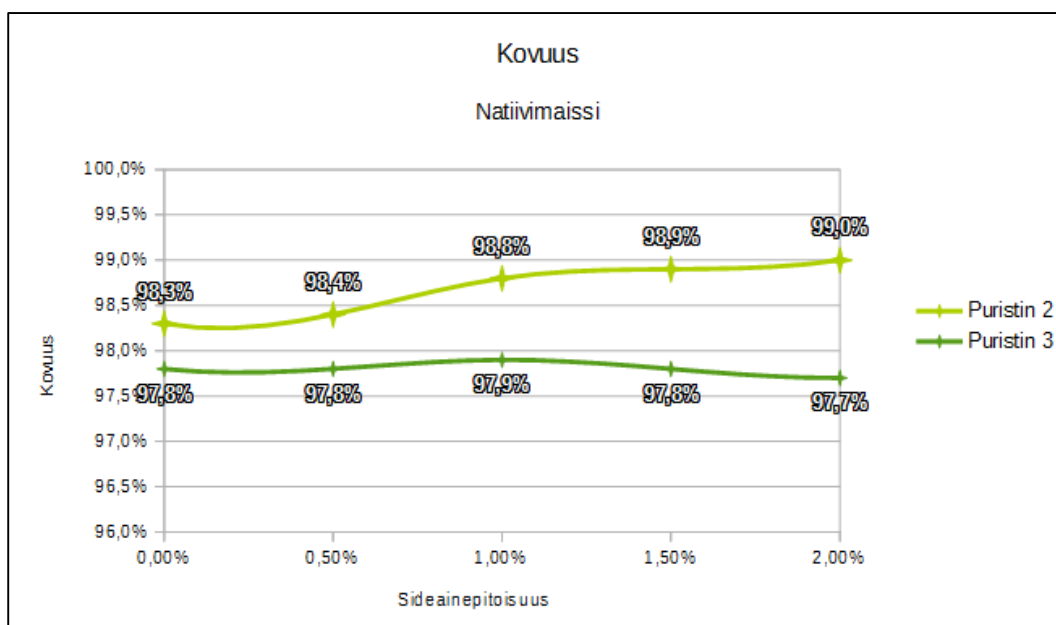
Kuvio 27. Maissitärkkelys-erän hienoainejakauma

Sideaineellisen tuotannon aikana hienoainepitoisuus laski vaihteluvälillä 2,77 - 1,94%. Lasku oli pääosin lineaarista, poikkeuksena siirtymä 1,50 %:n sideainepitoisuudesta 2,00 %:n pitoisuuteen, jolloin hienoainepitoisuudessa havaittiin 0,15 % kasvu. Sideaineen hyötysuhde oli maissitärkkelyksen annostelussa parhaimmillaan välillä 0,00 - 1,00%, mutta sideainettomaan tuotantoon vertailtaessa laskun osasyiksi nähdään muutos raaka-aineen laadussa. Maissitärkkelyksen vaikutukset hienoaineen sitomiseen jäivät vertailun valossa verrattain vähäisiksi.



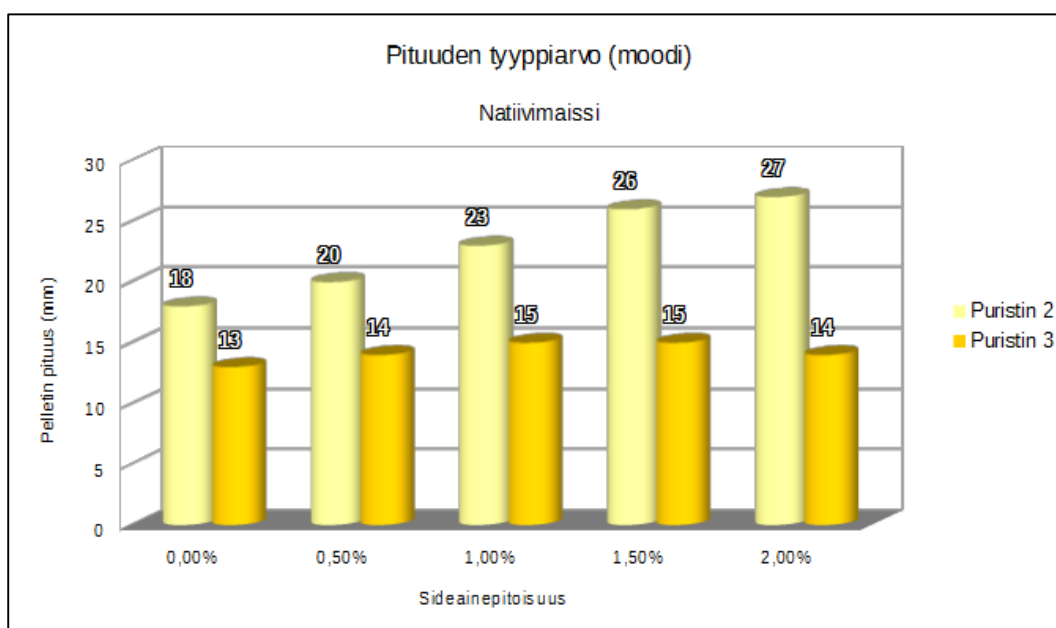
Kuvio 28. Maissi tärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon kosteusvertailu

Myöskään natiivimaissitärkkelyksellä ei todettu olevan vaikutusta lopputuotteen kosteuspitoisuuteen. Kaikkien vertailuerien kosteus vaihteli sideainepitoisuudesta ja ajankohdasta riippumatta välillä 6,4 - 7,6%. Ainoa huomionarvoinen seikka oli lisäaineellisen tuotannon kapeampi kosteusjakauma ja tasaisempi vaihtelu, mutta vaihteluiden vähyyden ja epälineaarisen käyttäytymisen vuoksi tämän ei voida osoittaa olevan sideaineen ansiota.



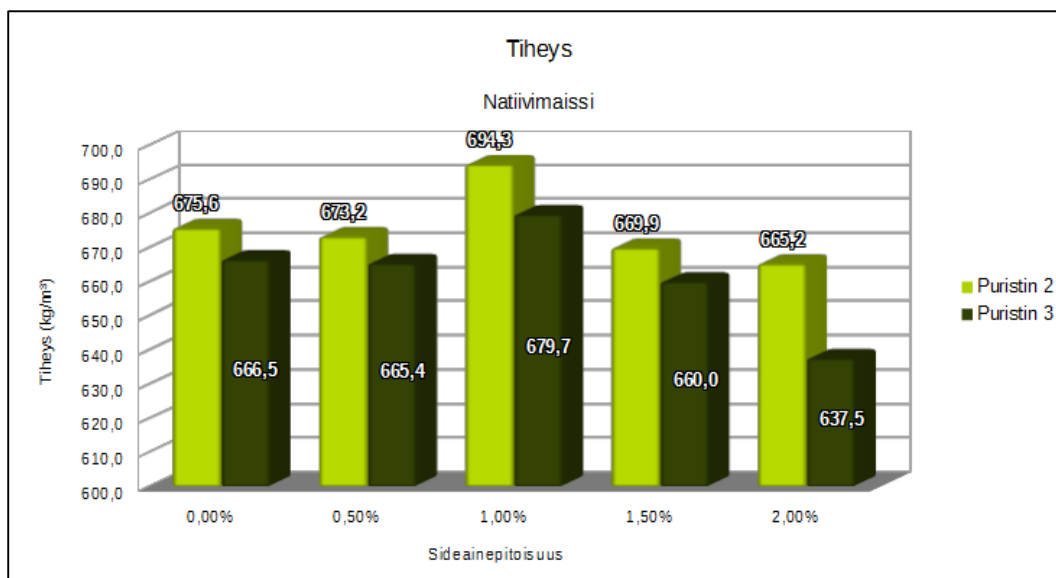
Kuvio 29. Maissitärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon kovuusvertailu

Maissitärkkelyksen käytössä havaittiin positiivinen vaikutus lopputuotteen kovuuteen. Sideaineettoman tuotannon kovuus vaihteli tasaisesti välillä 97,7 - 97,9 % ja kehitys oli pääpiirteiltään hitaasti laskevaa. Sideainetta käytettäessä kovuus kehittyi 98,3 %:sta 99,0 %:iin, eli kaikkiaan 0,7 %. Kehitys oli voimakkainta alueella 0,50 - 1,00 %, jolloin kovuus kasvoi 0,4 %. Osasyynä kyseiseen kasvuun on sideaineettomasta vertailuerästä havaittava raaka-aineen laadun paraneminen.



Kuvio 30. Maissitärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon pituusvertailu

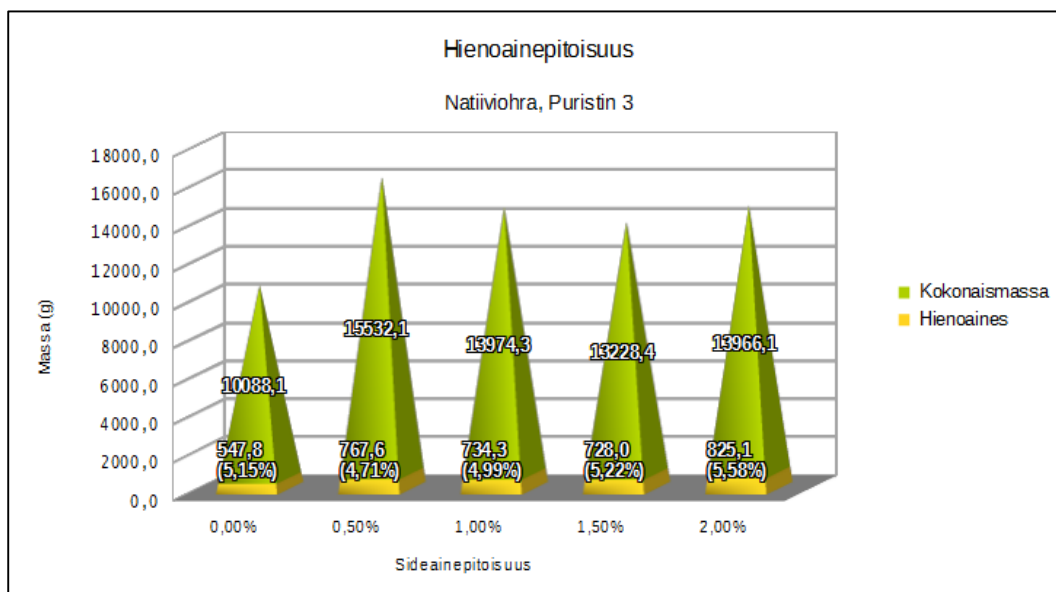
Pituuden moodia tarkasteltaessa huomattiin maissitärkkelyksen kasvattavan pituutta tasaisesti. Kasvu oli kaikkiaan 18 mm:stä 27 mm:iin sideainetta käytettäessä, sideaineettoman pituuden vaihdellessa tasaisesti 13 mm:n ja 15 mm:n välillä. Kasvu oli voimakkainta annostelualueella 0,00 - 1,50%, minkä jälkeen se hidastui voimakkaasti.



Kuvio 31. Maissitärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon tiheysvertailu

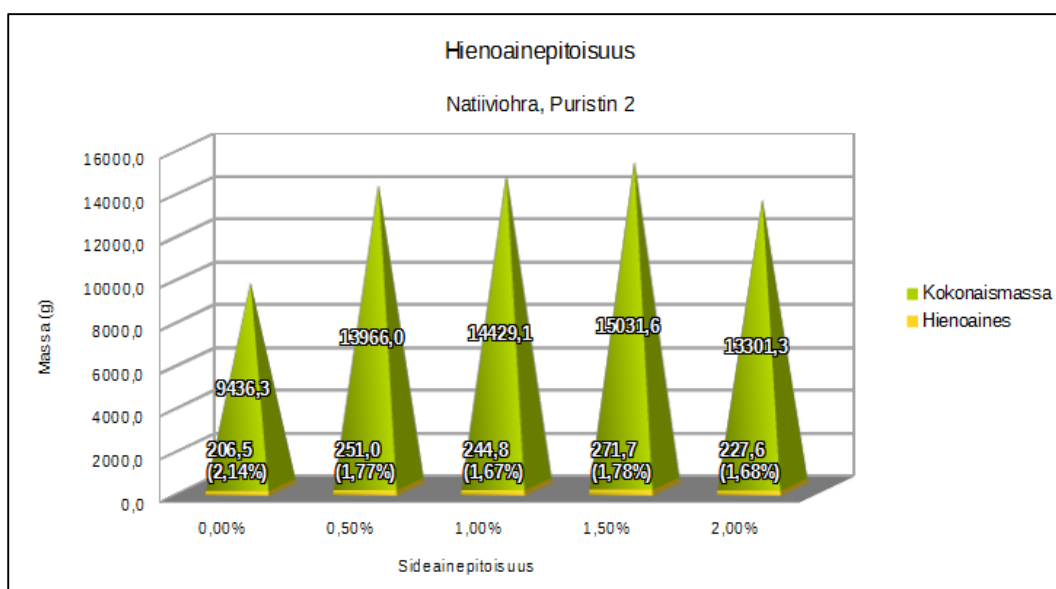
Pelletin tiheyteen natiivimaissitärkkelyksellä ei huomattu olevan vaikutusta. Pelletin kuutiopaino vaihteli sideaineettomassa että sideaineellisessa tuotannossa lähes identtisesti, poikkeuksena siirtymä 1,50 %:n sideainepitoisuudesta 2,00 %:n pitoisuuteen. Tässä siirtymässä havaittava 22,5 kg:n sideaineettoman kuutiopainon muutos todetaan muun vastaavanlaisen kehityksen puuttuessa merkityksettömäksi.

4.4 Ohratärkkelys, natiivi



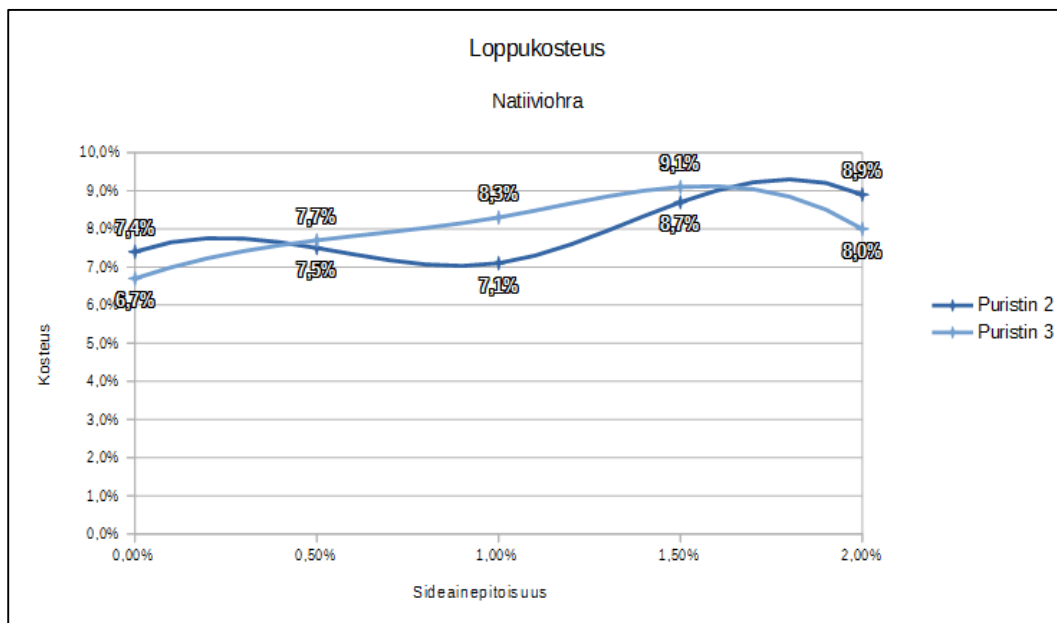
Kuvio 32. Vertailuerän hienoainejakauma

Natiiviohran testausten aikana sideaineeton hienoainepitoisuus vaihteli välillä 4,71 - 5,58 %, eikä vaihtelussa huomattu lineaarista kehitystä. Syyksi pieneen hienoainepitoisuuteen todettiin laadukas raaka-ainepohja. Sideainetestausten 1,00 - 2,00 % aikana lisäaineettomassa pelletissä huomattiin hienoainepitoisuuden merkittävä 0,59 %:n kasvu.



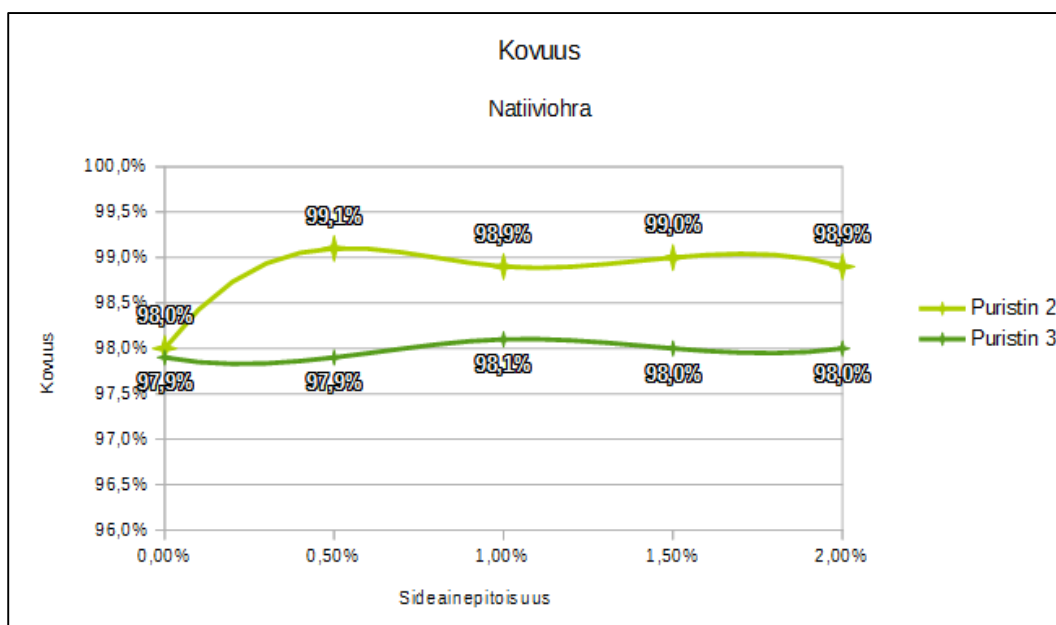
Kuvio 33. Ohratärkkelys-erän hienoainejakauma

Lisättäessä raaka-aineeseen sideainetta hienoainepitoisuus väheni 2,14 %:sta 1,68 %:iin. Kehityksen vähyyden ja suurten annosten epärationaalisen käytöksen vuoksi natiiviohralla ei voida todeta olevan merkittävää vaikutusta hienoaineen sitomiseen.



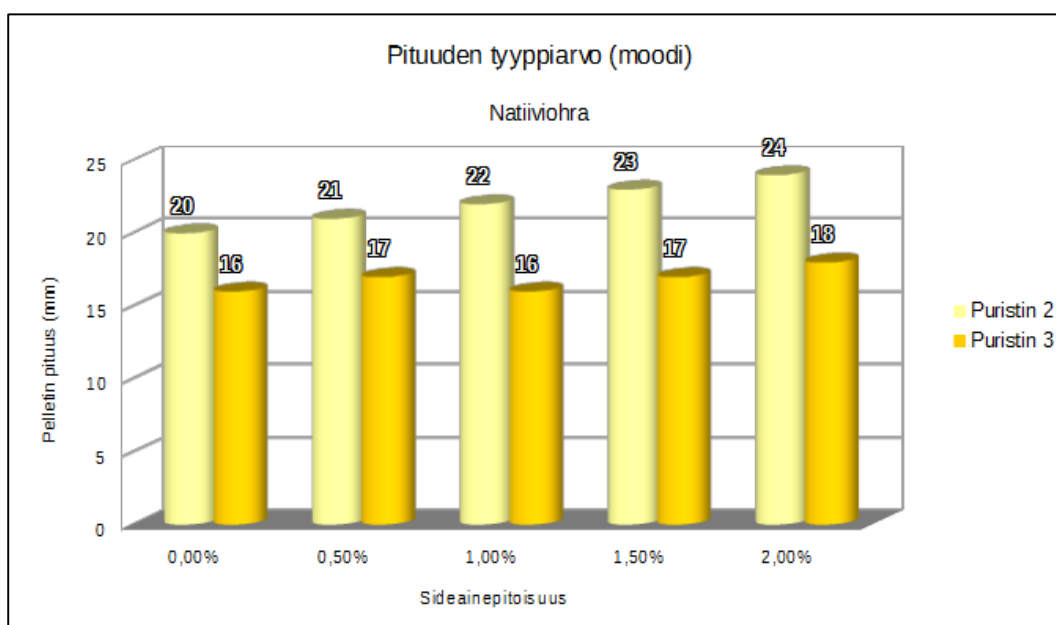
Kuvio 34. Ohratärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon kosteusvertailu

Lopputuotteen kosteuspitoisuus oli natiiviohratärkkelyksen osalta jatkuvassa kasvussa, minkä todetaan johtuvan raaka-aineen kosteuden kasvusta. Sideaineettoman tuotannon kosteuskehitys on myös tasaisemmin kasvavaa kuin sideaineellisen, jolloin sideaineella ei voida sanoa olevan vaikutusta lopputuotteen kosteuteen.



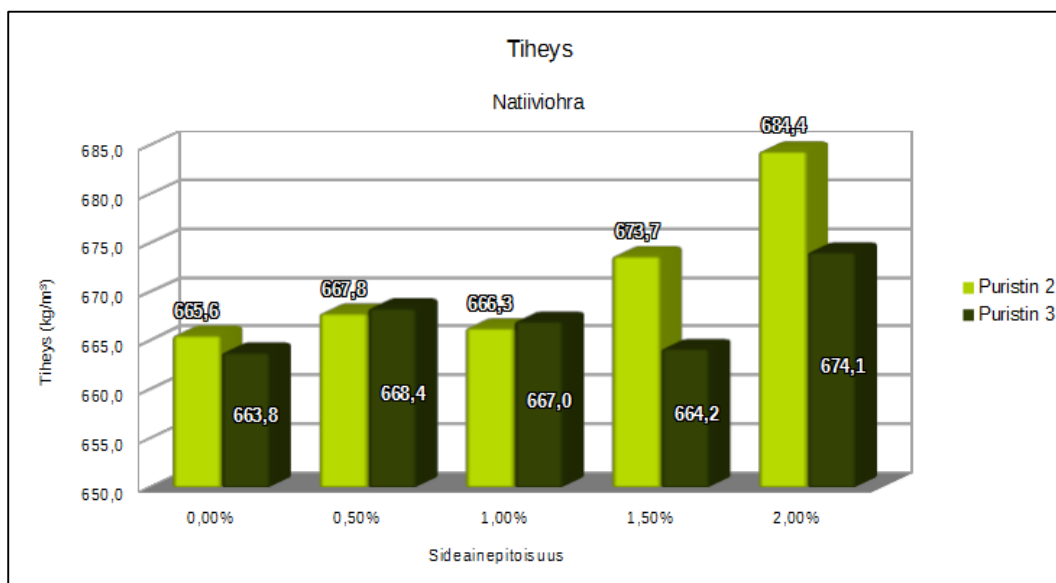
Kuvio 35. Ohratärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon kovuusvertailu

Kovuuden kannalta natiiviohralla huomattiin olevan heikko parantava vaikutus, joka korostuu vähäisessä annostelussa. Vaihtelu kovuudessa oli sideaineettomalla pelletillä välillä 97,9 - 98,1 % sideaineellisen vaihdellessa välillä 98,0 - 99,1%. Edellä mainittu 1,1 %:n kasvu kovuudessa tapahtuu siirtymässä 0,00% - 0,50 % sideainetta, minkä jälkeen kehitys pysähtyy. Natiiviohnan annosmäärän kasvattaminen yli 0,50 %:n ei ole kovuuden osalta perusteltavissa.



Kuvio 36. Ohratärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon pituusvertailu

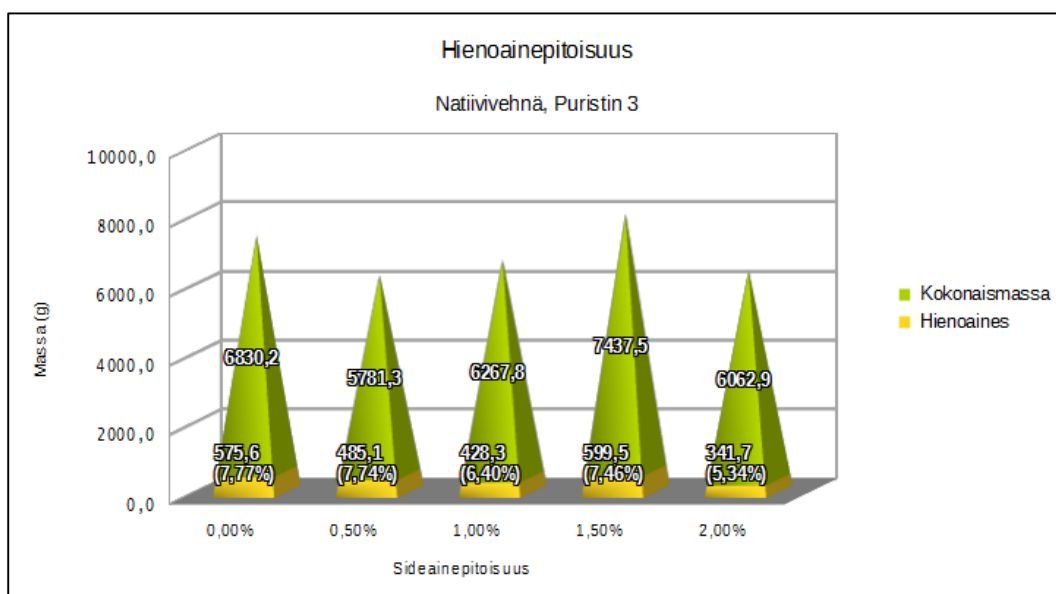
Myöskään pituudessa ei huomattu natiiviohratärkkelyksen osalta merkittävää vaikutusta. Sideaineeton pelletti kasvoi raaka-aineen vaikutuksista testien aikana kokonaisuudessaan 2 mm ja sideaineellinen vastaavasti 4 mm. Pituuden tyyppiarvon muutokset korreloivat molemmissa tapauksissa keskenään, ja muutokset ovat muihin tärkkelyslaatuihin nähden vähäisiä, noin 1 mm jokaista 0,50 %:n sideaineannoksen siirtymää kohden.



Kuvio 37. Ohratärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon tiheysvertailu

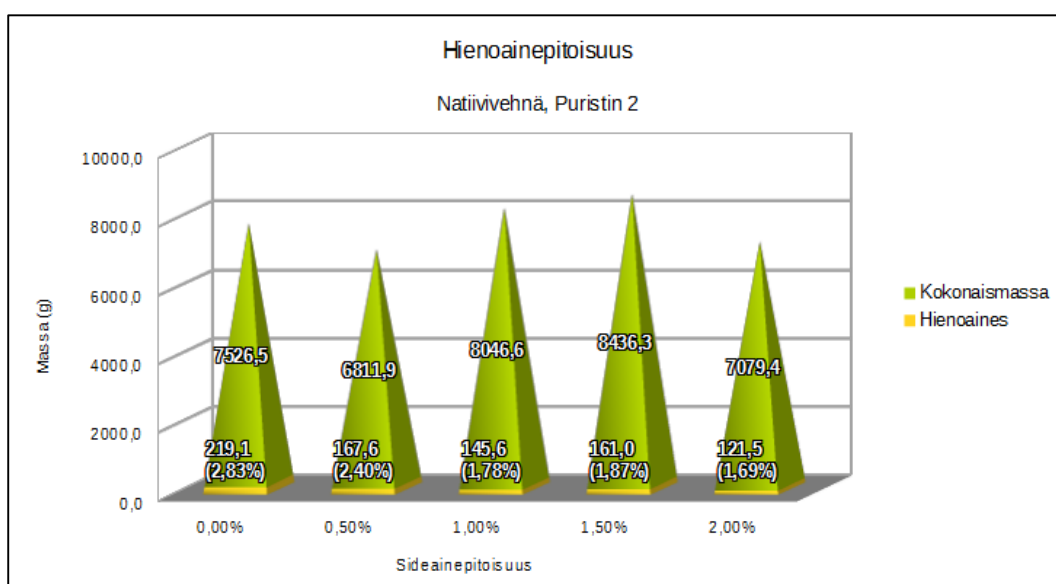
Tiheyttä tarkasteltaessa ohratärkkelyksellä ei havaittu olevan vaikutusta alle 1,50 %:n sideainepitoisuuksissa. Kuutiopainot korreloivat keskenään välillä 0,00 - 1,00 %, minkä jälkeen sideaineettomassa pelletissä havaittiin ensin 2,8 kg:n lasku ja tämän jälkeen 9,9 kg:n kasvu. Samanaikaisesti ohratärkkelystä sisältävän pelletin kuutiopaino kasvoi ensin 7,4 kg ja tämän jälkeen 10,7 kg. Siirtymän 1,50 - 2,00 % kasvu selittyy osin raaka-aineen ominaisuuksien paranemisella, mutta 10,3 kg:n erotus jälkimmäisessä kategoriassa antaa syytä olettaa ohratärkkelyksellä olevan heikosti pelletin tiheyttä lisäävä vaikutus.

4.5 Vehnätärkkelys, natiivi



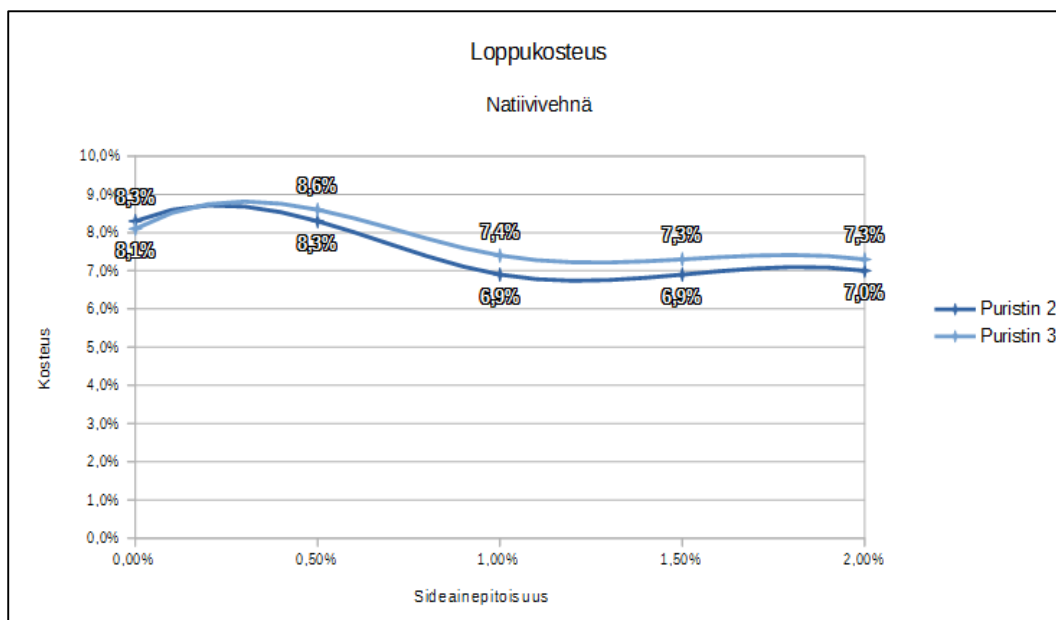
Kuvio 38. Vertailuerän hienoainejakauma

Natiivivehnätärkkelyksen aikana sideaineettoman pelletin hienoainepitoisuus oli hitaassa epälineaarissa laskussa välillä 7,77 - 5,34 %. Suurin muutos hienoaineessa tapahtui siirtymässä 1,50 - 2,00 %, jolloin hienoainepitoisuus laski 2,12 %. Lasku päätellään johtuneeksi raaka-aineen laadun kohenemisesta.



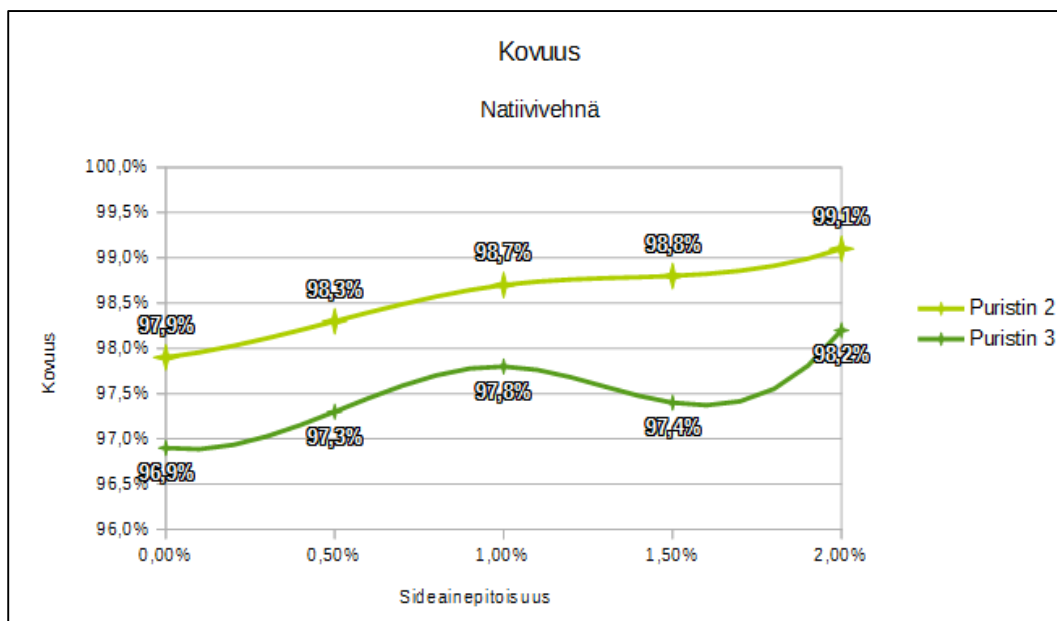
Kuvio 39. Vehnätärkkelys-erän hienoainejakauma

Myös sideainetta käytettäessä hienoainepitoisuus laski heikosti ja epälineaarisesti 2,83 %:sta 1,69 %:iin. Hienoainepitoisuuden kehitykset puristimien välillä korreloivat vahvasti keskenään ja molemmissa havaitaan 1,50 % sideainepitoisuudessa kohoama. Vehnätärkkelyksellä ei voida todeta olevan merkittävää hienoainesta sitovaa vaikutusta.



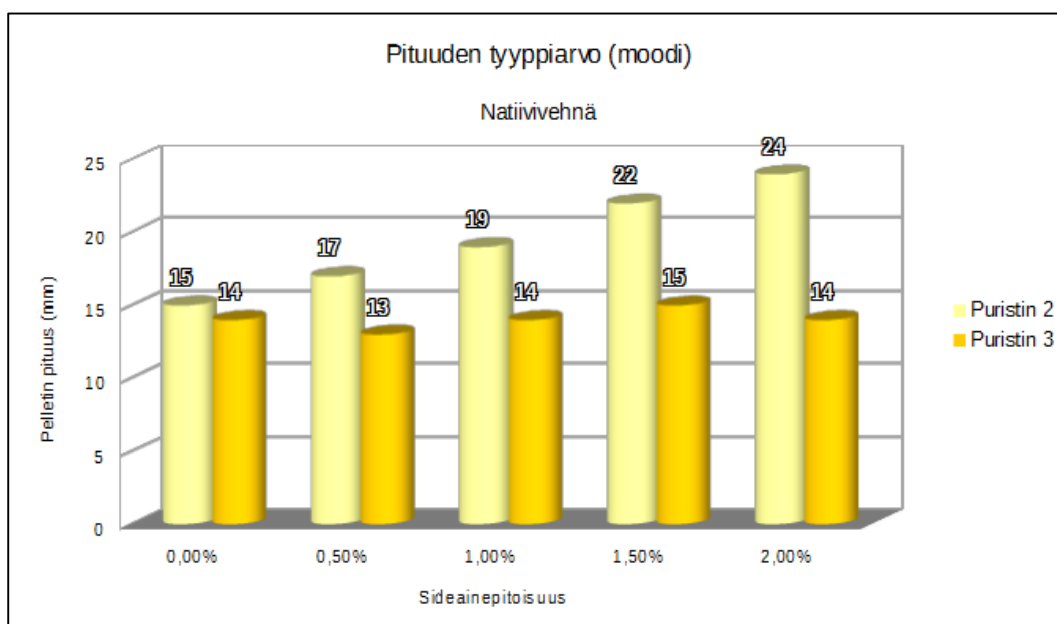
Kuvio 40. Vehnätärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon kosteusvertailu

Lopputuotteen kosteuspitoisuus vaihteli sekä vehnätärkkelystä käytettäessä että ilman sitä välillä 6,9 - 8,6 %. Kosteus oli pääasiallisesti heikossa laskussa, mutta vertailuerien vahvan korrelaation vuoksi vehnätärkkelyksen käytöllä ei todeta olevan vaikutusta tuotteen loppukosteuteen.



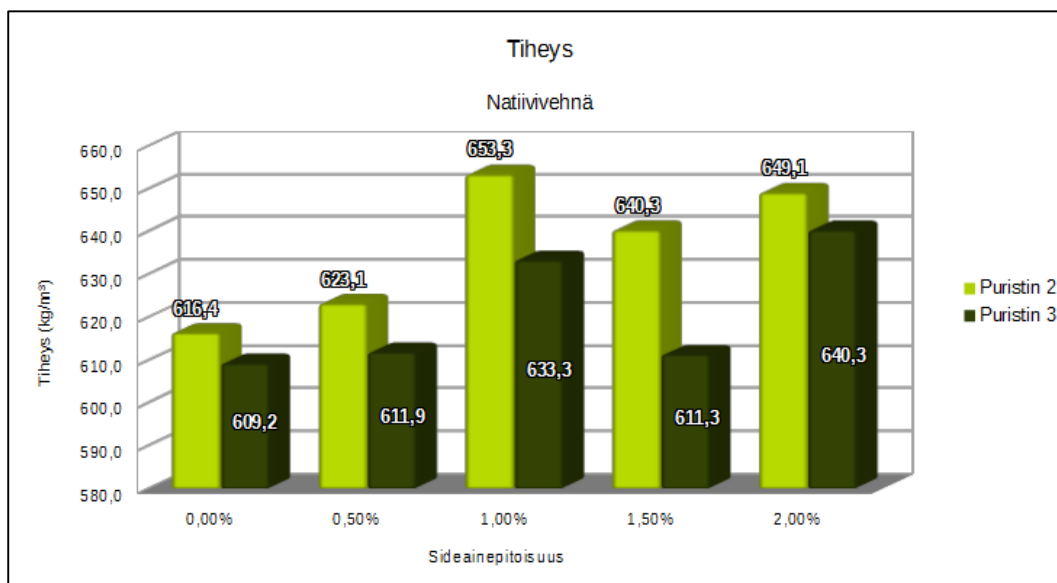
Kuvio 41. Vehnätärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon kovuusvertailu

Testausten aikana lisäaineettoman pelletin kovuus vaihteli välillä 96,9 - 98,2 %. Kehitys oli kaikkiaan positiivista johtuen osittain laadukkaamman raaka-aineen kulkeutumisesta tuotantolinjaan. Sideainetta käytettäessä vastaava väli oli 97,9 - 99,1 %. Kovuuden kehityksestä ilmenee, että raaka-ainepohjan muutoksilla on vehnätärkkelyksen käyttöä suurempi vaikutus. Huomionarvoista kovuuden kehityksessä on sideaineen käytön aiheuttama tasalaatuistuminen.



Kuvio 42. Vehnätärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon pituusvertailu

Pelletin pituuden tyyppiarvo kasvoi vehnätärkkelystä käytettäessä lineaarisesti 15 mm:stä 24 mm:iin, sideaineettoman pelletin pituuden pysyessä vakiona välillä 13 – 15 mm. Vehnätärkkelyksellä parannetun pelletin kasvu oli tasaista jokaisen siirtymän välillä, joten tärkkelyksellä voidaan todeta olevan huomionarvoinen vaikutus pituuteen.

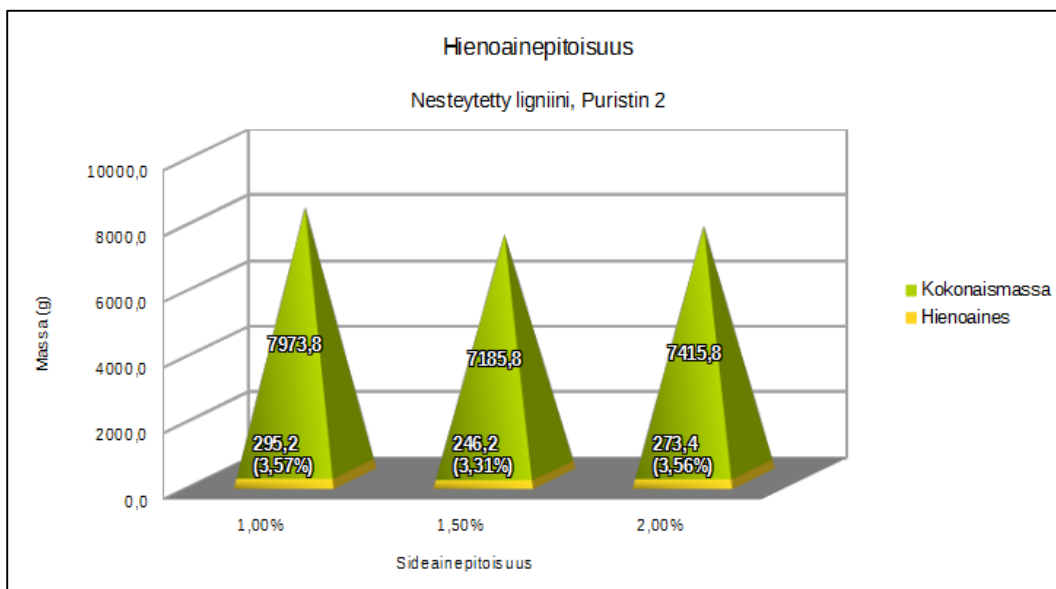


Kuvio 43. Vehnätärkkelyksen käytön ja sideaineettoman ajon tiheysvertailu

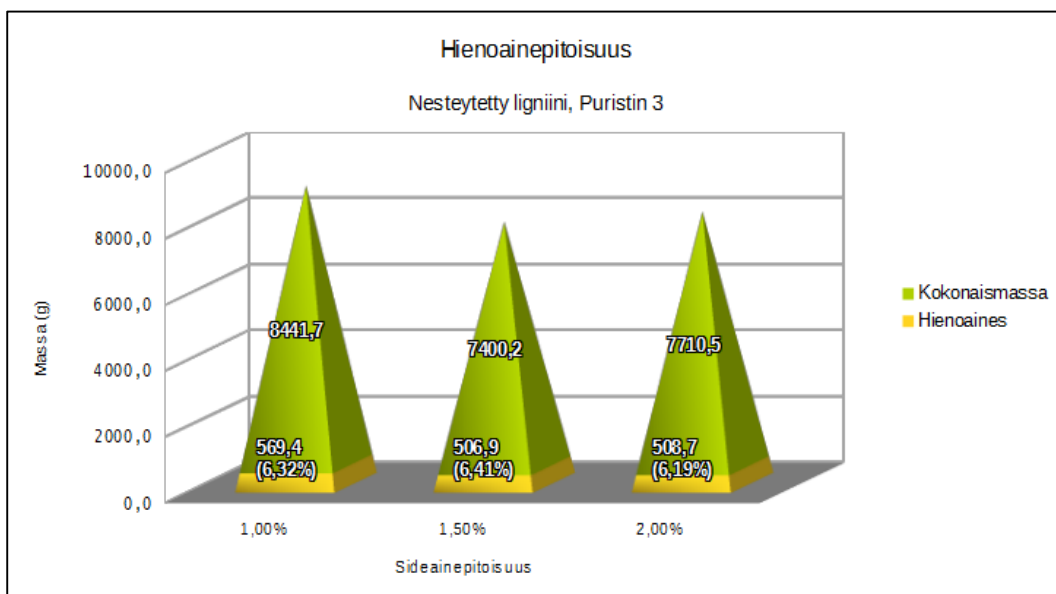
Natiivivehnällä ei havaittu olevan pelletin tiheyteen vaikutusta. Tiheys vaihteli sideaineettoman ja sideaineellisen pelletin osalta samankaltaisesti, ja siirtymässä 1,50 - 2,00 % huomattava tiheyksien läheneminen osoittaa muiden annosten erojen johtuvan pääasiassa puristimien mekaanisten osien välisistä laatueroista.

4.6 Ligniini, nesteytetty

Annoksen lisääntyminen ei vaikuttanut pelletin hienoaineen sitomiseen korkeissakaan sideainepitoisuuksissa, joka viittaa sideaineen olevan soveltumaton PM-30 –pelletöintikoneen syöttölaitteistolle. Sideaineellisten näytteiden hienoainepitoisuus vaihteli epälineaarisesti välillä 3,57 - 3,31 %, jotka todettiin 0-ajon perusteella normaaliarvoiksi. Koska kolmen suurimman pitoisuuden ajoissa ei huomattu laadun vaihteluita, kokeet keskeytettiin.

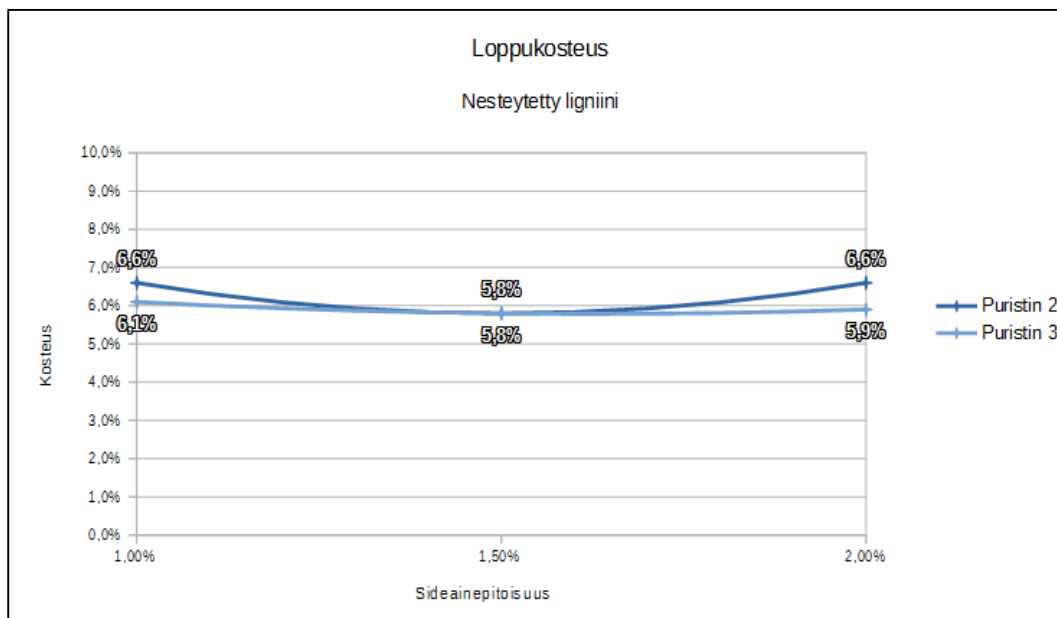


Kuvio 44. Vertailuerän hienoainejakauma



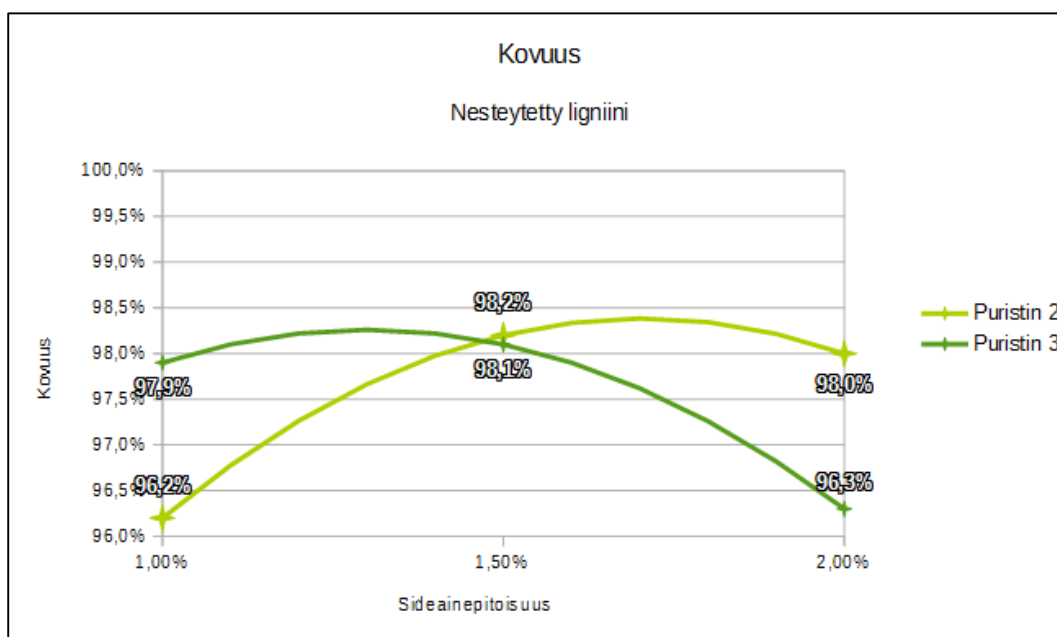
Kuvio 45. Ligniini-erän hienoainejakauma

Tuotteen loppukosteudessa ei näkynyt vaihtelua, ja arvot 5,8 - 6,6 % ovat tavallisesta poikkeamattomat. Oottaessa lisäksi huomioon että lignosulfaattiliuoksen massasta 80 % on vettä, tuloksista voidaan päätellä sideaineen onnistumaton yhdistyminen raaka-aineeseen.

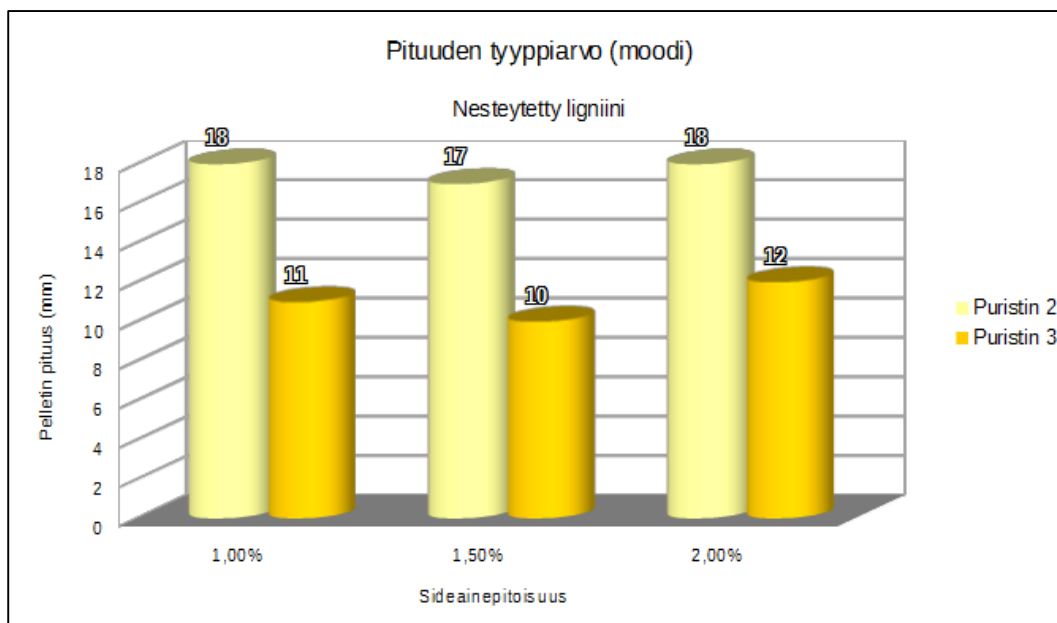


Kuvio 46. Ligniinin käytön ja sideaineettoman ajon kosteusvertailu

Kovuuden kehitys suurilla annosmäärillä todettiin sattumanvaraiseksi, eikä se korreloi sideainepitoisuuden kanssa. Ristiriitaisen kovuuskehityksen pohjalta kallistuttiin aiempaan hypoteesiin syötön epäonnistumisesta.

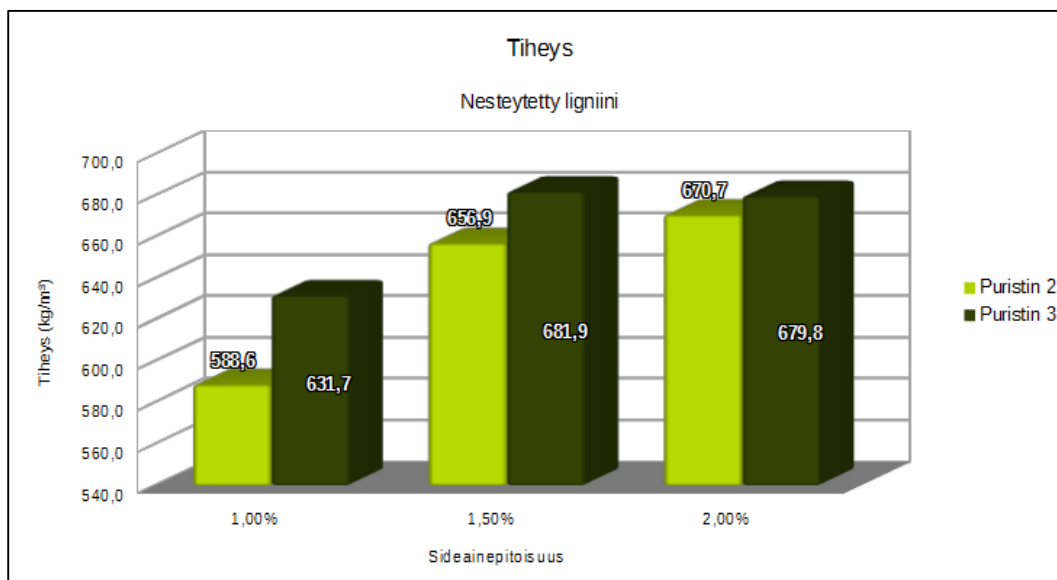


Kuvio 47. Ligniinin käytön ja sideaineettoman ajon kovuusvertailu



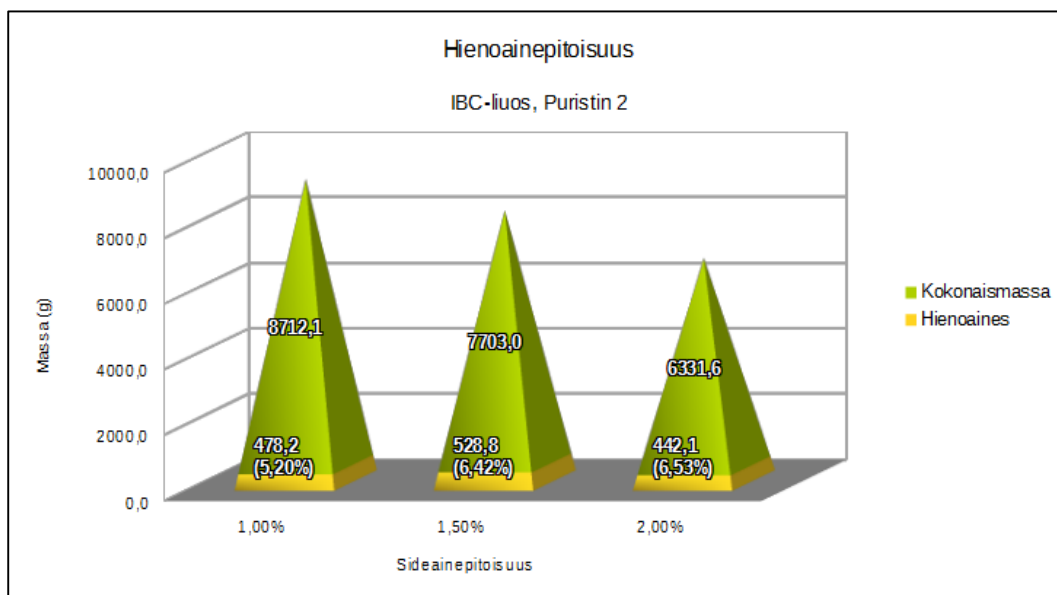
Kuvio 48. Ligniinin käytön ja sideaineettoman ajon pituusvertailu

Myös pituuden ja tiheyden kehitys oli sideaineettomista normaaliarvoista poikkeamatonta. Merkillepantava pituuden 2 mm:n hajonta ja alle 20 mm:n maksimipituus 2,00 % sideainepitoisuudella vahvistavat syöttömenetelmän toimimattomuuden.



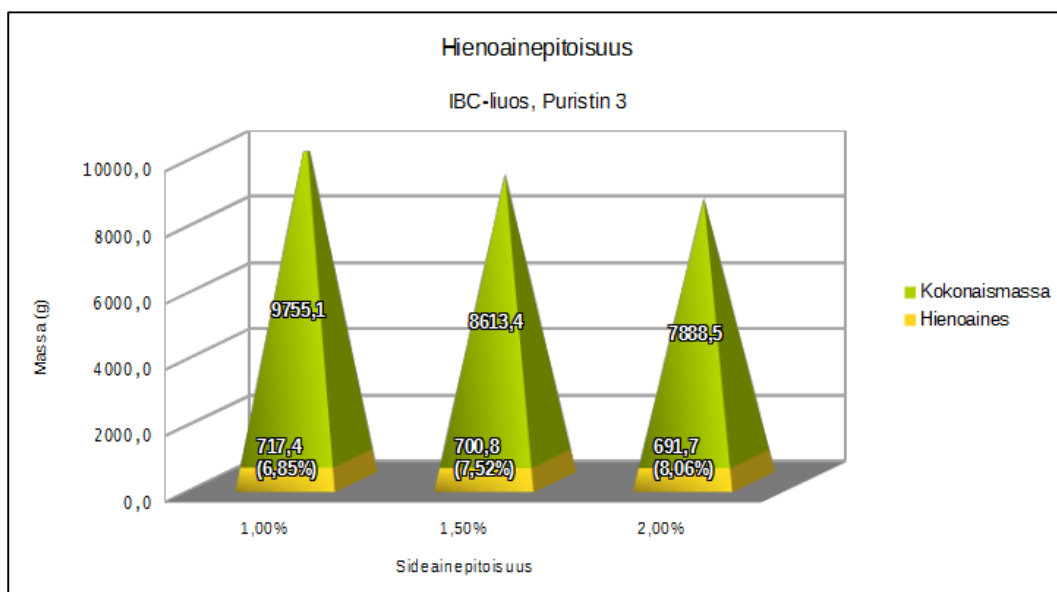
Kuvio 49. Ligniinin käytön ja sideaineettoman ajon tiheysvertailu

4.7 IBC-liuos



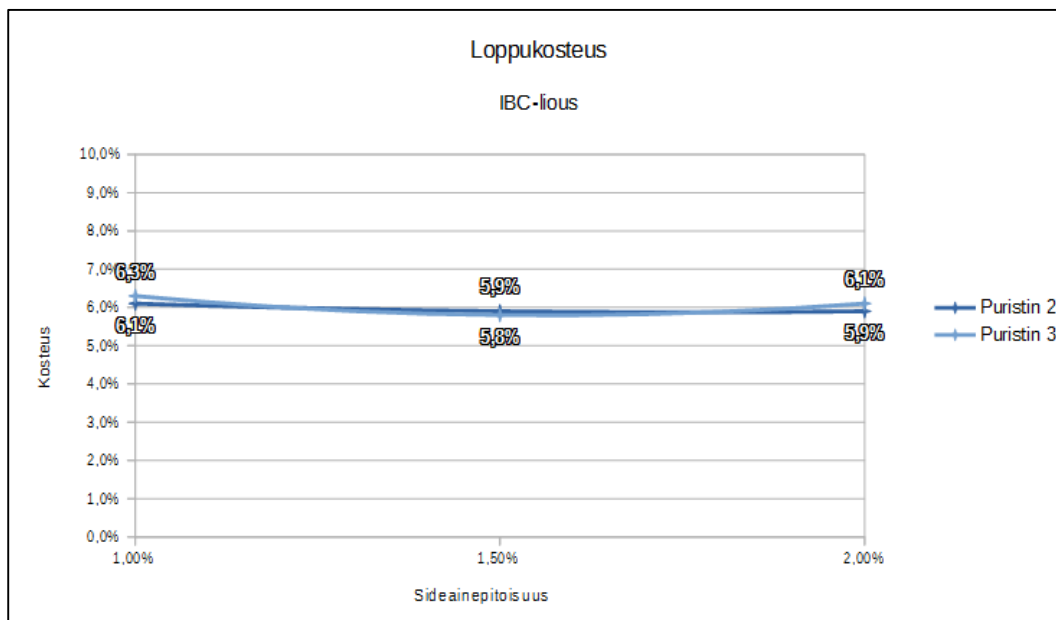
Kuvio 50. Vertailuerän hienoainejakauma

Myös IBC-liuoksen syötön huomattiin aiheuttavan kosteudesta johtuvaa adheesiota sideaineen ja raaka-aineen välillä, mistä seurasi aineen tarttumista seinämiin ja laitteiston katvekohtiin. Hienoainepitoisuuksissa ei huomattu vartenotettavaa kehitystä, vaikka perunatärkkelyksen tulosten pohjalta näin voitiin odottaa, ja kolmen epäonnistuneen ajon jälkeen myös IBC-liuoksen testit keskeytettiin.



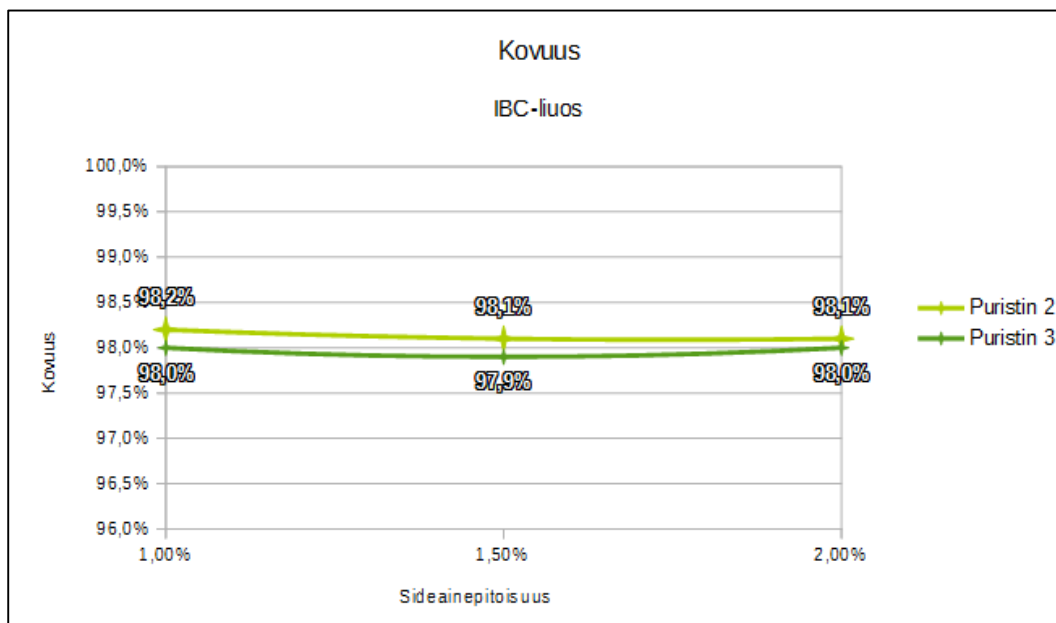
Kuvio 51. IBC-liuoksellisen erän hienoainejakauma

Tuotteen loppukosteus viittasi IBC-liuoksen syötön epäonnistumiseen, sillä kosteuden arvot ja vaihtelut olivat normaalin rajoissa. Hypoteesia vahvistaa liuoksen korkea kosteuspitoisuus, jonka odotettiin näkyvän vahvasti valmiin pelletin kosteudessa.

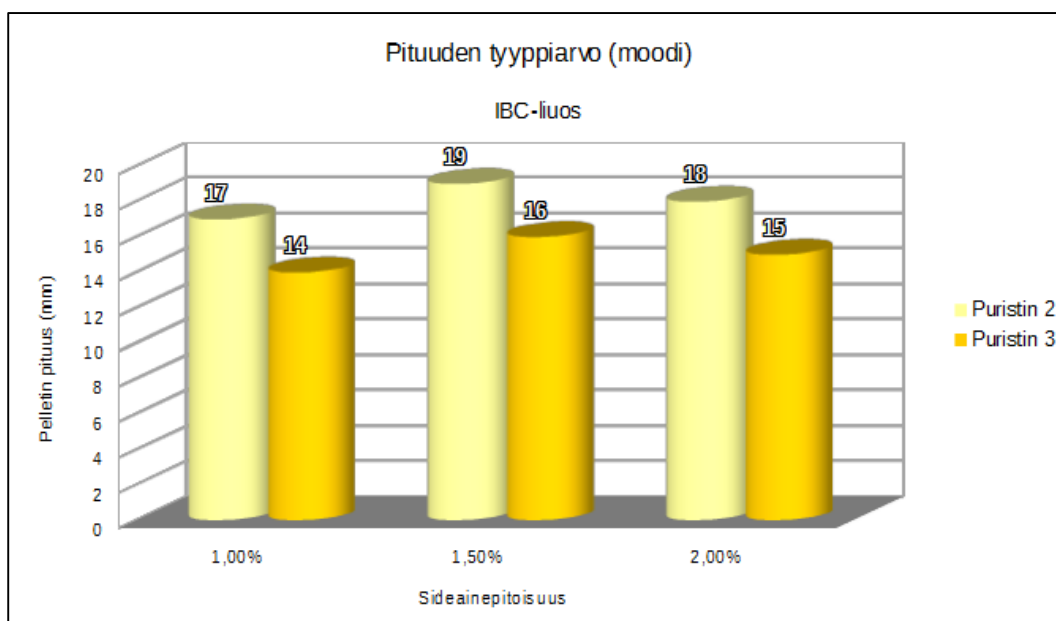


Kuvio 52. IBC-liuoksen käytön ja sideaineettoman ajon kosteusvertailu

Kovuuden arvot IBC-liuoksen sideaineellisissa ja lisäaineettomissa ajoissa erosivat toisistaan vain 0,2 %, minkä lisäksi arvot korreloivat vahvasti keskenään. Tulos viittaa syötön epäonnistumiseen.

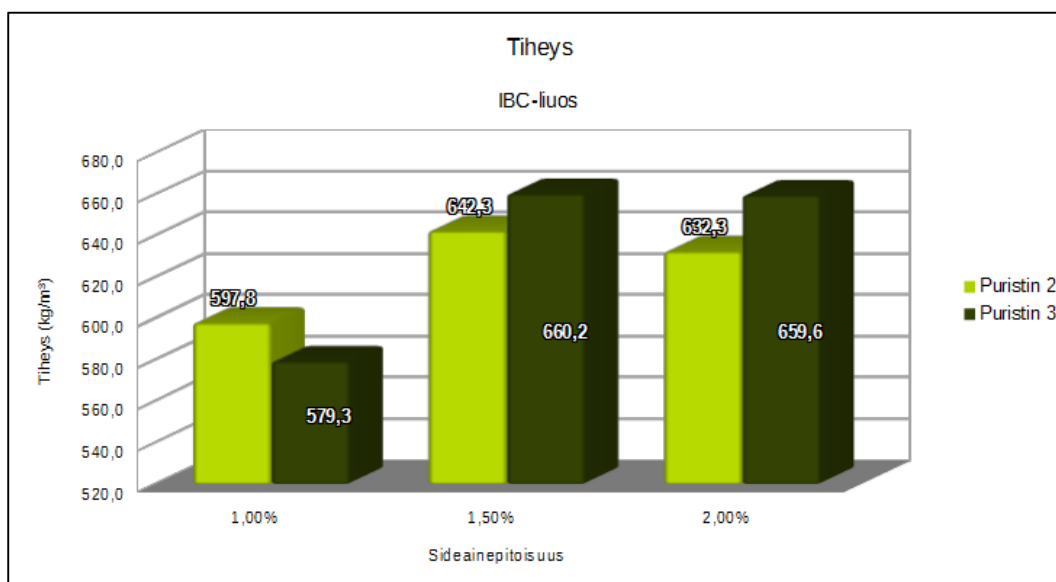


Kuvio 53. IBC-liuoksen käytön ja sideaineettoman ajon kovuusvertailu



Kuvio 54. IBC-liuoksen käytön ja sideaineettoman ajon pituusvertailu

Pituuden tyyppi-arvo hajonta kaikkien näytteiden kesken oli 2 mm, ja maksimiarvo alle 20 mm. Tiheys vaihteli epärationaalisesti eikä eronnut merkittävästi 0-ajosta, jolloin viimeisten laatukriteerien todetaan vahvistavan oletus epäonnistuneesta syötöstä.



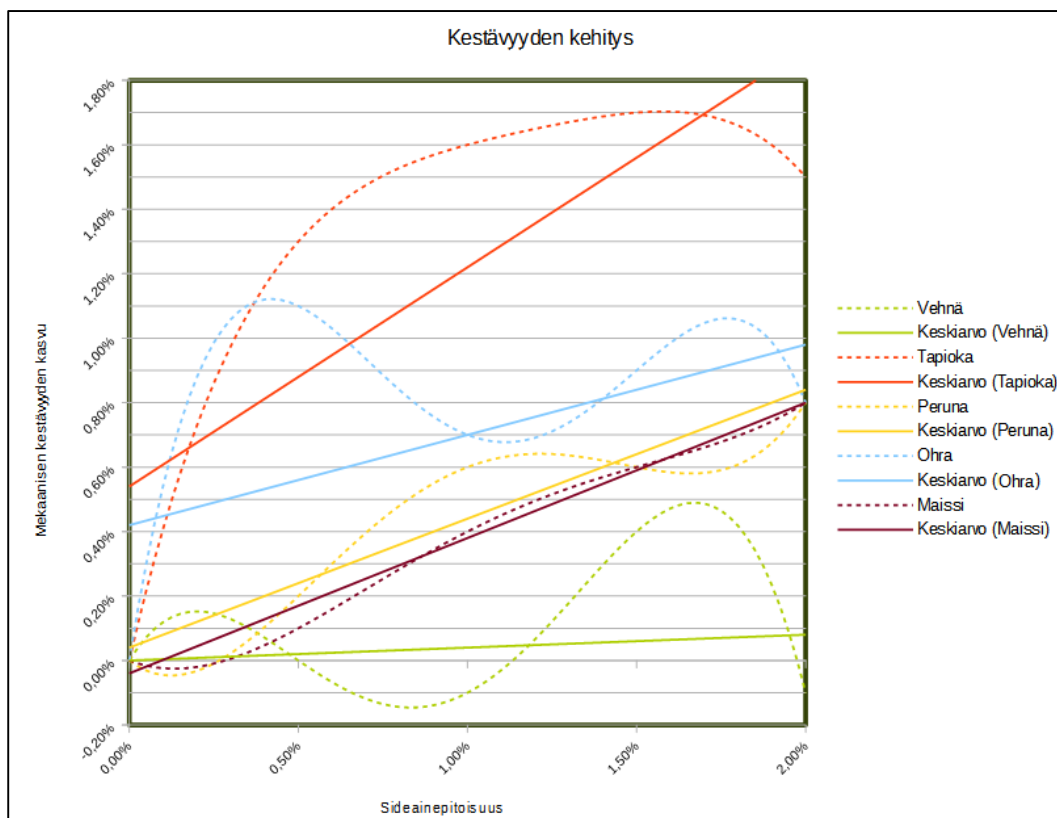
Kuvio 55. IBC-liuoksen käytön ja sideaineettoman ajon tiheysvertailu

5 TULOSTEN ARVIOINTI

5.1 Tulosten vertailu

Seuraavassa vertaillaan sideaineiden keskenäisiä suhteita pelletin laadun parantamisessa. Luvussa 2.3 eritellyistä laatuominaisuuksista vertailussa on jätetty huomioimatta kosteuspitoisuuden muutos, jonka vaihtelut todettiin tulosten valossa riippumattomaksi sideaineen käytöstä. Lisäksi ulkopuolelle suljettiin muutokset pelletin tiheydessä, koska sideaineen vaikutus tiheyteen on häviävän pieni suhteessa puristusmatriisin ja raaka-ainepohjan vaikutuksiin. Luvuissa 4.6 ja 4.7 todetun epäsoveltuvuuden vuoksi nestemäisten sideaineiden tarkastelu edellyttäisi jatkokokeita uudella syöttölaitteistolla.

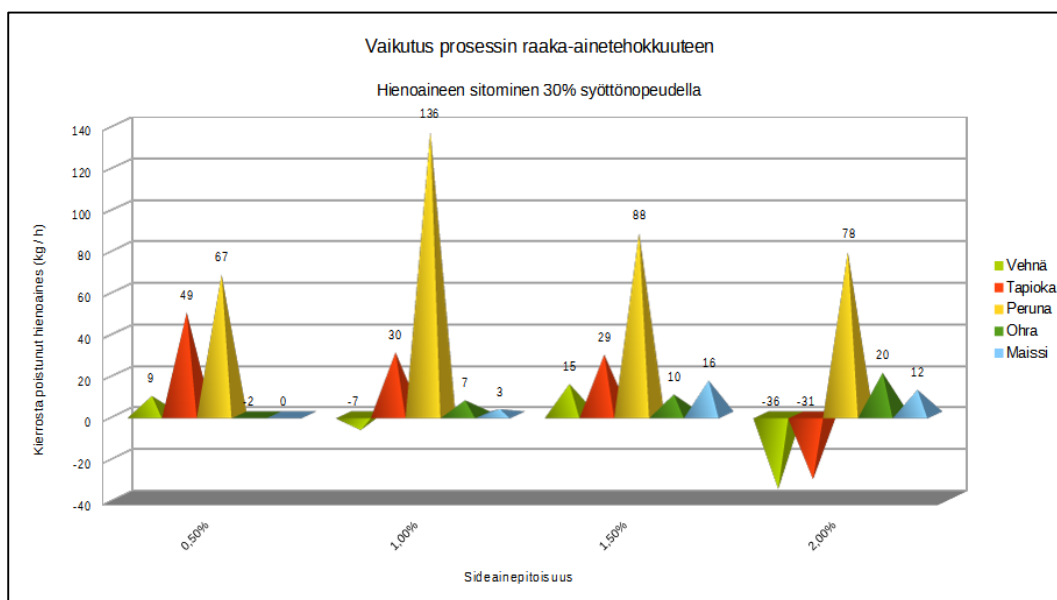
Ensimmäinen ja tuotteen arvon kannalta oleellisin laatuominaisuus on pelletin mekaaninen kestävyys, joka lisää tuotteen luotettavuutta toiminnassa sekä vähentää käsittelyn aikana tapahtuvaa hävikkiä. Kestävyyden muutos on ilmoitettu seuraavassa kuviossa prosenttiyksikköinä. 2%:n kestävyyskasvu merkitsee siis kestävyiden kasvua 96,0 – 98,0%. Kuviossa jokaista tärkkelyslaatua kohti on piirretty kaksi viivaa, logaritminen katkoviiva sekä lineaarinen yhtenäinen viiva. Katkoviiva kuvaa testien aikana todettuja arvoja ja niistä arvioitua kestävyysvaikutuksen kehitystä, ja alkaa aina arvosta 0. Tämä johtuu arvioinnissa vähennetystä raaka-ainepohjan vaikutuksesta, jonka vuoksi myös käyrien muoto eroaa luvun 4.1 - 4.5 vastaavista. Yhtenäinen viiva on tulosjoukosta laskettu keskiarvo, joilla on pyritty helpottamaan tärkkelysten keskenäistä vertailua. Kuvion selkeyttämiseksi keskiarvoiset kestävyyskäyrät alkavat korkeammalta niillä tärkkelyslaaduilla, joilla todettiin voimakkaimmat vaikutukset. Vertailtaessa näitä käyriä tulee absoluuttisten arvojen sijaan siis keskittyä suoran kulmakertoimeen.



Kuvio 56. Mekaanisen kestävyyskehitys eri sideaineilla ja pitoisuuksilla

Kuviossa selvästi korkein mekaanisen kestävyyskehitys nähdään natiivitapiokatärrkelyksen käytössä, jolla on sekä korkeimmat absoluutiset arvot että korkein lineaarisen suoran kulmakerroin. Lineaarista suoraa tarkastellessa on kuitenkin syytä huomioida alueen 0 – 0,5% aikana tapahtuva jyrkkä kohoama sekä lopun notkahdus, joka antaa olettaa ettei suuremmalla annostelulla saavutettaisi merkittävää lisähyötyä. Tapiokan lisäksi myös natiiviohratärrkelyksellä todetaan merkittävä positiivinen vaikutus vähäisissä annosmäärissä, jonka jälkeen muutokset kovuudessa ovat heikkoja. Sen sijaan peruna- ja maissitärrkelysten kovuuskehitys on lähes lineaarista ja tasaisesti kasvavaa. Tästä voidaan teoriassa päätellä kyseisten tärrkelysten olevan tasalaatuisia ja luotettavia vaihtoehtoja mekaanisen kestävyyskehityksen kasvattamisessa. Vehnätärrkelyksen tapauksessa tulokset olivat keskenään ristiriitaisia ja suuruusluokaltaan merkityksettömiä.

Mekaanisen kestävyuden jälkeen tutkimuksen kannalta oleellisin ominaisuus on prosessin materiaalitehokkuuden parantaminen. Käytännössä tämä tarkoittaa puristuksen aikana syntyvän hienoaineen sitomista puristeeseen sideaineen avulla. Koska hienoaine palautuu prosessissa raaka-ainekiertoon, sen sitoutuminen lopputuotteeseen voidaan nähdä suoraan positiivisena vaikutuksena materiaalitehokkuuteen. Seuraavassa kuviossa vertaillaan eri tärkkelyslaatujen aiheuttamaa hienoaineen poistumista materiaalikierrosta. Hienoaineen poistuminen on ilmoitettu kilogrammoissa tuntia kohti niin kutsutussa tuotannon normaalitilanteessa, jolloin syöttöruuvia käytetään 30 %:n nopeudella.

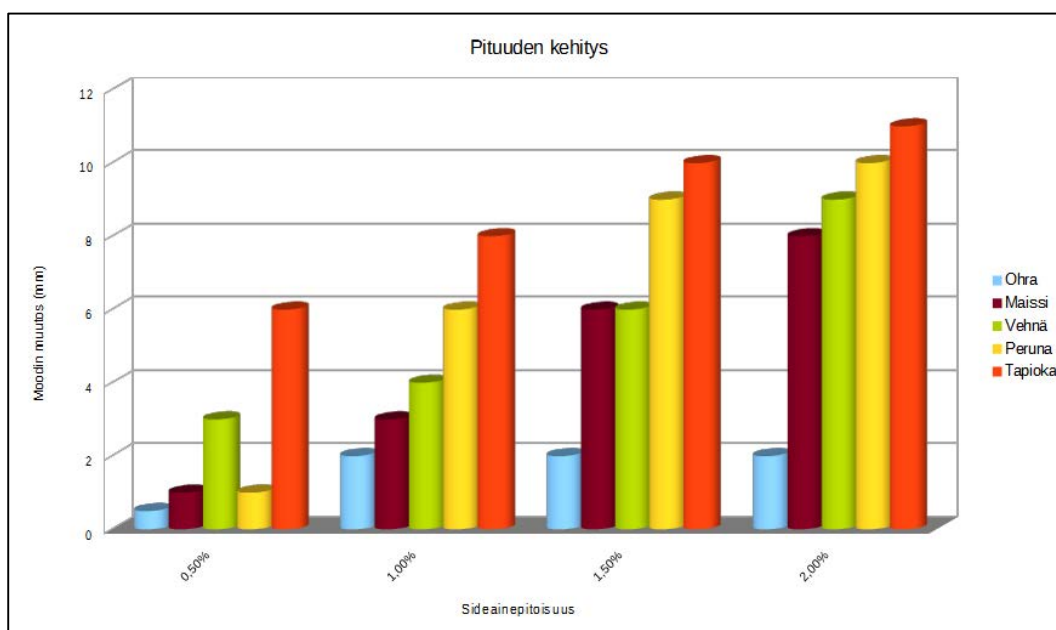


Kuvio 57. Materiaalitehokkuuden kehitys eri sideaineilla ja pitoisuuksilla

Materiaalitehokkuuden kannalta parhaat tulokset näkyvät perunatärkkelyksen käytössä, jolla saavutettiin parhaillaan jopa 136 kg/h materiaalissästö. Pienimmillään perunatärkkelystä lisäämällä saavutettiin 67 kg/h tehostava vaikutus. Nämä luvut vastavat vuorokaudessa 1,6 ja 3,2 tonnin suuruisia materiaalitehokkuuden parannuksia. Tutkimustilannetta vastaavilla asetuksilla pellettipuristimen teoreettinen tuotto on noin 54,7 tonnia vuorokaudessa. Tästä laskettu materiaalitehokkuuden parannus on parhaimmillaan noin 5,8 ja heikoimmillaan noin 2,9 %.

Tässä valossa muiden tärkkelyslaatuja raaka-ainetehokkuuden vaikutukset ovat verrattain pieniä ja osoittautuvat kuvion perusteella epäluotettaviksi. Huomionarvoista kuviossa on kovuuteen erittäin positiivisesti vaikuttaneen tapiokatärkkelyksen vaikutus, joka vaikutti materiaali-tehokkuuteen sitä heikommin tuloksin, mitä suuremmaksi sideainepitoisuutta kasvatettiin.

Lopuksi tuloksista vertailtiin sideaineen vaikutusta pelletin keskimääräiseen pituuteen. Pituuden kasvu voidaan nähdä pelletin laadulle haitallisena ominaisuutena (ks. Luku 2.3.4), mutta sen vaikutus on täysin hallittavissa järjestelmällisellä konehuollolla ja katkaisuveitsen tarkistuksella.



Kuvio 58. Keskipituuden kehitys eri sideaineilla ja pitoisuuksilla

Kaikilla sideaineilla todettiin pitoisuuden kasvun kanssa korreloivaa pelletin pituuskasvua. Merkillepantavaa kuviossa on 2 %:n pitoisuuden vertailu, jossa kaikki tärkkelykset ohraa lukuunottamatta aiheuttivat yli 8 mm:n kasvun. Teoriassa tämä merkitsee jatkuvaa ylipitkää tuotantoa. Parhaat tulokset tuotti ohratärkkelys, jonka pituuskasvu oli heikkoa ja rajoittui 2 mm:iin. Muiden neljän tärkkelyksen käyttö aiheutti tuotteessa merkittävää pituuskasvua ja vahvasti oletuksen katkaisuveitsen asettamisen välttämättömyydestä sideaineita käytettäessä.

5.2 Yhteenveto

Yhteenvetona voidaan todeta testien onnistuneen hyvin ja tuottaneen hyödyllistä tutkimustietoa. Jauhemaisten tärkkelysten testauksista saatiin aiempaa spesifisempiä, osittain ennakko-oletuksista eriäviä tuloksia. Tutkimustulosten avulla voidaan tehdä perusteltuja ratkaisuja lisäaineiden käytöstä ja annostelusta pelletinvalmistuksessa ja täten optimoida tuotantoprosessin laatua ilman prosessin katkaisua. Erityisesti kovuuden ja tiheyden kasvattamiseen liittyvillä tuloksilla on konkreettista taloudellista arvoa, koska niiden laatumodifikaatiot mahdollistavat teoriassa 100 %:sen I-laadun tuotannon.

Nesteytetyn ligniinin ja IBC-liuoksen syöttö pelletöintiprosessiin osoittautui tässä tutkimuksessa käytetyn teknologian puitteissa mahdolliseksi. Syötön epäonnistumisen pääteltiin johtuvan prosessissa tapahtuvasta käänteisestä lämmönsiirtymisestä, joka laukaisee ennenaikaisen gelatinoitumisreaktion ja estää sideaineen kulkeutumisen puristusvaiheeseen. Kolmen epäonnistuneen ajon aikana nestemäisten sideaineen todistettiin keräävän raaka-ainetta syöttölaitteiston seinämiin ja akselien ympärille, mikä aiheutti häiriöitä koko pellettiprosessissa. Nestemäisten sideaineiden epäonnistuneista syötöistä opittiin, ettei näitä voida käyttää kosteuden aiheuttaman adheesion vaikuttaessa. Lopuksi todettiin syöttölaitteiston muuntamisen nestemäisten sideaineiden käytölle sopivaksi edellyttävän vähimmilläänkin niin merkittäviä muutoksia, ettei niiden toteutus suhteessa tutkimuksen muihin tuloksiin ole taloudellisesti perusteltavissa.

Jauhemaisten tärkkelysten käyttöarvosta pellettiprosessissa voidaan todeta, että kaikilla viidellä laadulla oli lopputuotteen arvoon jonkinasteinen positiivinen vaikutus. Heikoimmin näistä vertailussa pärjäsivät vehnä- ja maissitärkkelys. Näiden verrattain pieni mekaanisen kestävyysparannus ei lisää laatua merkittävästi, kun huomioidaan hienoaineen sitomiskyvyttömyys ja voimakas pituuskasvu. Tapiokatärkkelys osoittautui mekaanisen kestävyysparannuksessa ensiluokkaiseksi sideaineeksi, joka myös pääosin parantaa prosessin materiaalitehokkuutta.

Vastapainona tälle tapiokatärkkelyksen käyttö aiheuttaa kuitenkin erittäin merkittävää kasvua pituudessa, mikä puolestaan lisää laitehuollon tarvetta. Tapiokaa voidaan perustellusti pitää hyvänä sideainevaihtoehtona, mikäli sen markkinahinta on peruna- tai ohratärkkelystä huokeampi. Peruna ja ohra ovat tutkimuksen perusteella pellettiprosessille optimaalisia tärkkelyslaatuja. Näitä laatuja ei voi perustellusti arvottaa toistaan korkeammalle, vaan niiden käyttöarvo riippuu ominaisuudesta jota ensisijaisesti halutaan parantaa. Perunatärkkelyksellä on suhteessa muihin laatuihin erittäin merkittävä materiaalitehokkuutta parantava vaikutus, ja sen käyttö paransi pelletin kestävyyttä voimakkaammin kuin ohra. Toisaalta perunatärkkelys kasvattaa pelletin keskipituutta merkittävästi. Ohratärkkelyksen lähes yhtä voimakas kestävyysvaikutus sekä materiaalitehokkuuden lineaarinen kasvu pitoisuuden kasvaessa nousevat merkityksellisiksi, kun huomioidaan tämän lähes olematon vaikutus pelletin keskipituuteen. Valittaessa sideainetta pelletin laadun parantamiseen hankkijan tulisi siis ensisijaisesti vertailla ohra- ja perunatärkkelyksen välistä markkinahintaa.

5.3 Kehitysehdotukset

Tutkimuksen aikana opittiin sekä pellettiprosessissa että itse tutkimusmetodeissa olevan potentiaalisia kehityskohteita. Jauhemaisia tärkkelyksiä käytettäessä muun muassa huomattiin, että syöttölaitteiston toimintaan vaikuttavat radikaalisti ilmankosteus ja hienojakoisen pulverin taipumus kekoutua. Sideainesäiliö tulisi varustaa tärymoottorilla tai mekaanisilla sekoittajilla, jotta voitaisiin saavuttaa jatkuva ja luotettava syöttö. Lisäksi sideainesäiliön yhteyteen tai välittömästi sen jälkeen olisi mahdollista toteuttaa eräänlainen hienoaineen kyllästyssäiliö. Tämän kautta hienoaines voitaisiin palauttaa prosessiin tärkkelyksen kanssa sen sijaan, että palautetaan jo tärkkelykselle altistunut hienoaines raaka-ainesäiliöihin.

Tärkkelysten pituusvaikutuksista nousi huoli ylipitkästä tuotannosta ja henkilöstön ajallisista mahdollisuuksista valvoa asiaa, jolloin alettiin pohtia mahdollisuutta integroida katkaisuveitsen asetus hallintajärjestelmään. Tämän voi toteuttaa esimerkiksi etäisyysanturilla, joka ilmaisee pelletin maksimipituuden leikkuveitsen ja matriisin ulkopinnan välisenä erotuksena. Viimeisenä laitteistoon liittyvänä uudistuksena tulisi tutkia myös mahdollisuutta sisällyttää nesteytetyt sideaineet käytön piiriin. Syöttö olisi yksinkertaisimmillaan toteutettavissa asentamalla sykäys-periaatteella toimivilla suuttimilla varustettu annostelija paineilmaverkostoon, ja ohjaamalla tämä erilliseen puskurivarastoon. Ajatus puskurivaraston takana on antaa kostudelle aikaa siirtyä sideaineesta raaka-aineeseen ja täten vähentää sen alttiutta takertua syöttölaitteistoon.

Lopuksi todettakoon vielä, että II-laatuisten perunatärkkelyksen menestys testeissä nostaa esiin kysymyksen ”heikompilaatuisten” ohra- ja tapiokatärkkelyksen saatavuudesta. Keskenään vertailukelpoiset tulokset viittaavat siihen, että oikealla syöttölaitteistolla toteutettu pellettilaitteisto pystyy käsittelemään myös suuremman partikkelikoon ja ominaiskosteuden omaavia laatuja. II-laadun käytön perusteena on luonnollisesti säästö sideainehankinnoissa.

6 LÄHTEET

Kirjallisuuslähteet

Hellsten Johanna: Määritelmäviidakko. Matalaenergia-, passiivi-, nolla- ja plusenergiatalo. Rakennuslehti, 2.10.2008, 2008.

SFS: Kiinteät biopolttoaineet, Osa 1: Terminologia, luokitusjärjestelmät ja laadunvarmistus sekä analyysitulosten muuntaminen eri ilmoittamisperustoille. Suomen Standardoimisliitto SFS, 2012

SFS: Kiinteät biopolttoaineet, Osa 2: Terminologia, näytteenotto ja näytteen esikäsittely, fysikaaliset ja mekaaniset testimenetelmät sekä analyysitulosten muuntaminen eri ilmoittamisperustoille. Suomen Standardoimisliitto SFS, 2012

Nalladurai Kaliyan , R. Vance Morey 2008. Factors affecting strength and durability of densified biomass products.

Eino Rantala. Uusiutuvien lähien energioiden käyttö rakennuksissa. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2014

Ylitalo, Esa. Metsäntutkimuslaitos, Metsätilastotiedote 10/2010. 2010

I.Mediavilla, L. S. Esteban, and M. J. Fern´andez, “Optimisation of pelletisation conditions for poplar energy crop,” *Fuel Processing Technology Journal*, vol. 104, 2012.

L. Sikanen and T. Vilppo, “Small scale pilot combustion experiments with wood pellets- the effect of pellet length,” *The Open Renewable Energy Journal* Vol. 5, 2012.

M. Kuokkanen, T. Kuokkanen, and V. Pohjonen, “The development steps in eco-efficient pellet production and technology,” in *Proceedings of the EnePro Conference, Energy Research at the University of Oulu*, pp. 36–40, University of Oulu, Oulu, Finland, 2009

M. Kuokkanen, T. Vilppo, T. Kuokkanen, T. Stoohr, J. Koskela: "Pilot-mittakaavainen sekä kemiallinen tutkimus eräiden lisäaineiden käytöstä puupellettituotannossa.", 2011

D. Tarasov, C. Shahi, M. Leitch: "Effect of Additives on Wood Pellet Physical and Thermal Characteristics: A Review" 2013

Elektroniset lähteet

Tilastokeskus 2013. http://www.stat.fi/til/ehk/2012/04/ehk_2012_04_2013-03-22_tie_001_fi.html

Versowood 2014. <http://www.versowood.fi/category/konserni/>

Haarla 2014. <http://www.haarla.fi/the-haarla-group/?lang=fi>

Bioenergia 2015. <http://www.pellettienergia.fi/Pelletin%20tuotanto>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos maissi
<http://www.fineli.fi/food.php?foodid=27&lang=fi>

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos peruna
<http://www.fineli.fi/food.php?foodid=162&lang=fi>

2015 Elsevier B.V: Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics
<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03770257/open-access>

Bioenergianeuvoja 2014
<http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/pelletti/>

Altia 2013:
<http://www.altiacorporation.com/fi/yritys/Tuotteet+ja+palvelut+teollisuudelle>

Food and Agriculture Organization of the United Nations 2015.
<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>

International Starch Institute 2015
<http://www.starch.dk/isi/starch/tm33wheat.asp>

Kuvio 11: Kosteusmittari Precisa 2015. Saatavissa:

http://www.precisa.com/download/en_330XM_Brochure.pdf

Kuvio 12: Pelletin kestävyystesteri Holmen 2012. Saatavissa:

<http://www.tekpro.com/PDF/Holmen%20NHP100%20Leaflet.pdf>

Kuvio 13. Precisa BJ 6100D Precisa 2015. Saatavissa:

www.precisa.com/download/en_165BJ_Brochure.pdf

Suulliset lähteet

Laaksonen, T. 2014. Työnjohtaja. Versowood Group. Haastattelu 25.10.2014.

Nalkki, J. 2014. Liikekehityspäällikkö. Haarla Oy. Haastattelu 2.12.2014.

7 LIITTEET

Liite 1, Natiivitapiokatärkkelyksen tuotetiedot



CERTIFICATE OF CONFORMITY

EMES 100 MODIF. TAPIOCA STARCH 850 KG BIG BAG (97161)

PRODUCER: EMSLAND-STARKE ASIA PACIFIC PTE LTD (26)

We hereby certify that the material shipped under

Production Batch No A402-63
Manufacturing Date 25.2.2014
Expiry Date 24.2.2016

conforms to the Specification stated below:

APPROVED SPECIFICATION AND MEASURED TEST RESULTS

PROPERTY	UNIT	SPECIFICATION VALUE	MEASURED VALUE	METHOD
Moisture content	%	11.00 – 14.00	12.6	AOAC(2000).925.09
Whiteness	%	min 90.0	94.4	Kett-C300
pH		5.5 – 7.0	6.0	ph Meter
Viscosity	BU	800 – 3000	1060	Brabender Amylograph
Black speck		max 25	1	Visual
Residues	ppm	max 100.0	34.32	Sieve test

Date: 28.2.2014

This document is generated automatically and is therefore not signed.

Pyhäjärvenkatu 5A
33200 Tampere, Finland

Tel +358 3 3399 1300
Fax +358 3 3399 1350

info@haarla.fi
www.haarla.fi

Ref: 1002

Liite 2, Natiiviperunatärkkelyksen tuotetiedot



SPECIFICATION

NATIVE POTATO STARCH

Description: Native potato starch for food industry
Item s: Native Potato Starch 25 kg bags, 1000 kg pallet (97151)
Native Potato Starch 1000 kg big bags
Appearance: White powder
Taste and smell: Neutral

PROPERTY	UNIT	SPECIFICATION VALUE
Chemical content		
Moisture	90 min 130°C	18 – 20%
pH		6 – 8
Ash	3 – 4 h 900°C	
Protein	6,25*total nitrogen Kjeldahl	max 0,15%
Filter gauge		< 0,2% / 0,5mm
Microbiology		
TBC	NMKL/Petrofilm 48 h 37°C	max 10 000/g
Coliforms	NMKL	0/g (+44°C) max 50/g (+37°C)
Yeast and mold	NMKL	< 50/g (5 days 20°C)
Salmonella		Negative
GMO		Free of GMO

Date: 21.11.2013

This document is generated automatically and is therefore not signed.

Pyhäjärvenkatu 5A
33200 Tampere, Finland

Tel +358 3 3399 1300
Fax +358 3 3399 1350

info@haarla.fi
www.haarla.fi

Liite 3, Natiivimaissitärkkelyksen tuotetiedot



SPECIFICATION

NATIVE MAIZE STARCH

Description: Native maize starch for food industry
Item s: Native maize starch C*Gel03401

Appearance: White or yellowish powder
Taste and smell: Neutral

PROPERTY	UNIT	SPECIFICATION VALUE
Chemical content		
Moisture	%	10,5 – 13,5
pH		4 – 6
Protein (N*6,25)	%	max 0,4
Sulphur dioxide	mg/kg	max 10
Viscosity (50 °C)	BU	min 550
Viscosity (95 °C)	BU	min 330
Microbiology		
Total plate count	cfu/g	max 5000
Yeast and mold	cfu/g	max 500
Molds	cfu/g	max 500
Salmonella	/ 25 g	negative
E.coli	/g	negative

Date: 22.4.2014

This document is generated automatically and is therefore not signed.

Pyhäjärvenkatu 5A
33200 Tampere, Finland

Tel +358 3 3399 1300
Fax +358 3 3399 1350

info@haarla.fi
www.haarla.fi

Liite 2, Natiiviohratärkkelyksen tuotetiedot

ALTIA
— YOUR 1ST CHOICE —

BARLEY STARCH PRODUCT DATA SHEET

Typical composition

1. Origin

Processed from pure Finnish barley by Koskenkorva Works in the starch-ethanol integrate.

2. Physical properties

Physical form	Free flowing fine powder	
Colour	From white to off white	
Bulk density (kg/dm ³)	packed	0,65
	loose	0,57
Dry substance, dried starch (%)		92,0
Dry substance, wet starch (%)		42,0
Particle size distribution (µm)		
Mean		16,5
d ₅₀		17,0
d ₉₀		24,5
Gelatinization properties		
Temperature (°C)		64,5
Enthalpy (J / g)		10,9
Gel transparency (%)		37
(water = 100 %)		

3. Chemical properties

Ash content (% of dry matter)	< 0,4
Protein content (% of dry matter)	< 0,5
Lipid content (% of dry matter)	
Total	< 0,6
Unhydolyzed	0,1

Koskenkorva Plant

Liite 2, Natiivivehnnätärkkelyksen tuotetiedot

HAARLA

PRODUCT SPECIFICATION

CERTIFICATE OF QUALITY NATIVE WHEAT STARCH

CHARACTERISTIC	VALUE	UNIT	METHOD
Chemical & Physical:			
Moisture	max 13,0	%	EN ISO 1666
Ash content (dry matter)	max 0,25	%	EN ISO 3593
Total protein content (dry matter)	max 0,35	%	EN ISO 3188
Wet screening (dry matter, residue on 125µm)	max 0,005	%	IST 4703166-14
Residue on 200 µm sieve	max 1,0	%	IST 4703166-18
Maximum viscosity	min 400	BU	Brabender Viscograph 37g DS / 413 ml max 93°C; 700cmg
pH	6,0 – 7,0		IST 4703166-13
Bulk density	0,6	kg/l	
Microbiological:			
Total bacteria count	max 10 000	cfu/g	EN ISO 4833
Yeasts	max 500	cfu/g	ISO 21527-2
Moulds	max 500	cfu/g	ISO 21527-2
Salmonella	negative	25g	EN ISO 6579
E.coli	negative	cfu/g	ISO 16649-2
Nutrition information 100g:			
Energy	348/1454	kcal/kJ	
Protein	0,35	g	
Carbohydrate :	86,30	g	
of which sugar	0,48	g	
of which fibre	0,005	g	
Fat	0,1	g	
Sodium	13	mg	

Shelf life: 24 months
Storage: in dry, cool place
Last update: 10.02.2012

Date: 2015-1-20

This document is generated automatically and is therefore not signed.

Pyhäjärvenkatu 5A
33200 Tampere, Finland

Tel +358 3 3399 1300
Fax +358 3 3399 1350

info@haarla.fi
www.haarla.fi

Liite 6, Sideainepitoisuuksien syöttötaulukot

1. min	2. min	3. min	4. min	5. min
0	3	5	2	4
6	8	11	8	10
11	14	16	13	16
17	20	22	19	21
23	25	28	25	27
28	31	33	30	33
34	37	39	36	39
40	42	45	42	44
45	48	51	47	50
51	54	56	53	56
57	59		59	

Taulukko 1: 0,5% pitoisuutta vastaavat syöttöhetket, 18g mitta-astia

1.min	2. min	3. min	4. min	5. min
0	9	4	12	7
14	22	17	26	21
27	36	31	40	35
41	50	45	54	48
55		59		

Taulukko 2: 1,0% pitoisuutta vastaavat syöttöhetket, 87g mitta-astia

1.min	2. min	3. min	4. min	5. min
0	4	8	3	7
9	13	17	12	16
18	22	27	21	26
27	32	36	31	35
37	41	45	40	44
46	50	54	49	53
55	59		58	

Taulukko 3: 1,5% pitoisuutta vastaavat syöttöhetket, 87g mitta-astia

1. min	2. min	3. min	4. min	5. min
0	2	4	5	0
7	9	11	12	7
14	16	17	19	14
21	22	24	26	21
27	29	31	33	28
34	36	38	40	35
41	43	45	47	42
48	50	52	54	48
55	57	59		55

Taulukko 4: 2,0% pitoisuutta vastaavat syöttöhetket, 87g mitta-astia